

# Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France

OMINEA - 21<sup>ème</sup> édition

Juillet 2024

# Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France

## OMINEA - 21<sup>ème</sup> édition

Juillet 2024

<i>Rédaction</i>	
<i>Contributeur(s)</i>	Jean-Marc ANDRE, Houssem BELHOUANE, Grégoire BONGRAND, Stéphanie BARRAULT, Romain BORT, Benjamin CUNIASSE, Ariane DRUART, Anaïs DURAND, Antoine GAVEL, Lisa GRELLIER, Jonathan HERCULE, Coralie JEANNOT, Mélanie JUILLARD, Rania KAMAR, Bernardo MARTINS, Etienne MATHIAS, Vincent MAZIN, Adrien MERCIER, Niels MONTANARI, Sophie MOUKHTAR, Mickaël SAUBION, Colas ROBERT, Natalia SIRINA-LEBOINE, Felipe TRONCOSO-LAMAISON, Corentin VANCAYSEELE, Tamara VIEIRA DA ROCHA, Julien VINCENT, Quentin BEDRUNE.

<i>Coordination, Vérification et Approbation finale</i>		
<i>Coordination et Vérification</i>	Jean-Pierre CHANG, directeur adjoint Julien VINCENT, responsable de département	10/07/2024
<i>Approbation finale</i>	Jérôme BOUTANG, directeur général Nadine ALLEMAND, directrice adjointe	10/07/2024

Pour citer ce document :

Citepa, 2024. Rapport OMINEA – 21<sup>ème</sup> édition

© Citepa 2024

Ce Rapport a été réalisé avec la participation financière du Ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT).

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

Rapport n°2240omi/ 2024 | OMINEA.docm

Ce rapport national d'inventaire est disponible sur le site Internet du Citepa, à la page suivante :

<https://www.citepa.org/fr/omine/>

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](http://www.citepa.org) | [contact@citepa.org](mailto:contact@citepa.org)



I/G

# Sommaire

<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>4</b>
<b>GENERALITES</b> .....	<b>8</b>
ORGANISATION ADMINISTRATIVE ET PRINCIPE GENERAL DU SYSTEME NATIONAL D'INVENTAIRE .....	9
ADMINISTRATIVE ORGANISATION AND GENERAL PRINCIPLES OF THE NATIONAL INVENTORY SYSTEM .....	18
PROGRAMME D'ASSURANCE ET CONTROLE DE LA QUALITE.....	27
QUALITY ASSURANCE AND QUALITY CONTROL PROGRAM.....	38
PREPARATION DES INVENTAIRES, COLLECTE DES DONNEES, TRAITEMENTS ET ARCHIVAGE .....	46
INVENTORY PREPARATION, DATA COLLECTION, PROCESSING AND STORAGE .....	55
EVALUATION DES INCERTITUDES.....	64
ASSESSING UNCERTAINTIES .....	66
JUSTIFICATION RATIONNELLE DES METHODES D'ESTIMATION.....	68
RATIONALE FOR ESTIMATION METHODS.....	70
<b>ENERGIE (SECTION COMMUNE)</b> .....	<b>72</b>
CARACTERISTIQUES DES COMBUSTIBLES.....	73
FACTEURS D'EMISSION.....	78
<b>PRODUCTION D'ENERGIE</b> .....	<b>103</b>
CHAUFFAGE URBAIN .....	104
PRODUCTION CENTRALISEE D'ELECTRICITE.....	111
RAFFINAGE DU PETROLE .....	117
RAFFINAGE DU GAZ .....	124
TRANSFORMATION DE COMBUSTIBLES MINERAUX SOLIDES .....	128
INCINERATION DE DECHETS NON DANGEREUX .....	136
<b>COMBUSTION DANS L'INDUSTRIE</b> .....	<b>144</b>
INDUSTRIE MANUFACTURIERE (COMBUSTION) .....	145
FONDERIES DE FONTE GRISE .....	156
SIDERURGIE : PRODUCTION DE FONTE ET D'ACIER .....	160
PRODUCTION DE CUIVRE .....	172
PRODUCTION DE MAGNESIUM .....	177
PLOMB ET ZINC DE PREMIERE FUSION.....	181
PRODUCTION D'ALUMINIUM DE SECONDE FUSION .....	187
PLOMB ET ZINC DE SECONDE FUSION.....	192
AUTRES FOURS .....	200
PRODUCTION DE PRODUITS DE FOURRAGE VERT DESHYDRATE (COMBUSTION) .....	206
PRODUCTION DE CIMENT (COMBUSTION) .....	212
PRODUCTION D'EMAIL (COMBUSTION).....	219
PRODUCTION DE VERRE (COMBUSTION) .....	224
PRODUCTION DE CHAUX (COMBUSTION) .....	238
PRODUCTION DE PLATRE (COMBUSTION) .....	244
PRODUCTION DE CERAMIQUES FINES .....	249
PRODUCTION DE TUILES ET BRIQUES .....	256
PRODUCTION D'ENROBES ROUTIERS .....	263

INDUSTRIE MANUFACTURIERE (COMBUSTION) – SOURCES MOBILES .....	267
<b>TRANSPORTS .....</b>	<b>274</b>
TRANSPORT AERIEN.....	275
TRANSPORT ROUTIER.....	284
TRANSPORT FERROVIAIRE .....	303
TRANSPORT FLUVIAL ET PLAISANCE .....	311
TRANSPORT MARITIME.....	317
STATIONS DE COMPRESSION DU RESEAU DE TRANSPORT ET DE DISTRIBUTION DU GAZ .....	328
AUTRES TRANSPORTS.....	332
<b>AUTRES SECTEURS DE LA COMBUSTION .....</b>	<b>333</b>
SECTEURS TERTIAIRE / INSTITUTIONNEL / COMMERCIAL .....	334
SECTEURS RESIDENTIEL.....	340
AGRICULTURE / SYLVICULTURE (COMBUSTION) .....	352
PECHE NATIONALE .....	365
NON SPECIFIE – SOURCES FIXES .....	374
NON SPECIFIE – SOURCES MOBILES .....	381
<b>EMISSIONS FUGITIVES .....</b>	<b>382</b>
EXTRACTION DU CHARBON.....	383
TRANSFORMATION DES COMBUSTIBLES MINERAUX SOLIDES.....	387
EXTRACTION, EXPLORATION ET TRANSPORT DES COMBUSTIBLES FOSSILES LIQUIDES .....	392
TRANSPORT ET DISTRIBUTION DES PRODUITS PETROLIERS .....	398
RAFFINAGE DU PETROLE .....	403
EXTRACTION ET TRAITEMENT DU GAZ NATUREL .....	410
TRANSPORT, STOCKAGE ET DISTRIBUTION DU GAZ NATUREL.....	413
TORCHERES ET VENTILATION DANS L'EXTRACTION DE GAZ ET DE PETROLE .....	420
RAFFINAGE DU PETROLE .....	424
<b>INDUSTRIES MINERALES (PROCEDES) .....</b>	<b>428</b>
PRODUCTION DE CIMENT (DECARBONATATION) .....	429
PRODUCTION DE CHAUX (DECARBONATATION) .....	438
PRODUCTION DE VERRE (DECARBONATATION) .....	445
AUTRES PROCEDES AVEC DECARBONATATION .....	450
PRODUCTION DE CERAMIQUES FINES .....	453
PRODUCTION DE TUILES ET BRIQUES .....	456
UTILISATION DU CARBONATE DE SODIUM ET DU BICARBONATE DE SODIUM .....	459
STOCKAGE ET MANIPULATION DES PRODUITS MINERAUX.....	461
CHANTIERS ET BTP .....	463
EXPLOITATION DES CARRIERES .....	466
<b>INDUSTRIES CHIMIQUES (PROCEDES) .....</b>	<b>473</b>
AMMONIAC.....	474
ACIDE NITRIQUE .....	478
PRODUCTION D'ACIDE ADIPIQUE .....	481
PRODUCTION D'ACIDE GLYOXYLIQUE.....	484
CARBURE DE CALCIUM .....	487
PRODUCTION DE CARBONATE DE SODIUM ET BICARBONATE DE SODIUM.....	490
NOIR DE CARBONE .....	493

PRODUCTION D'ETHYLENE ET PROPYLENE.....	497
AUTRES PRODUCTIONS DE LA CHIMIE ORGANIQUE .....	502
PRODUCTION DE HFC, PFC ET SF <sub>6</sub> .....	511
TORCHERES DANS L'INDUSTRIE CHIMIQUE .....	513
SITES CHIMIQUES (DECARBONATATION) .....	516
AUTRES PROCEDES DE LA CHIMIE INORGANIQUE.....	518
<b>INDUSTRIES METALLURGIQUES (PROCEDES) .....</b>	<b>526</b>
SIDERURGIE : PRODUCTION DE COKE, DE FONTE ET D'ACIER.....	527
FERRO-ALLIAGES.....	542
PRODUCTION DE SILICIUM .....	545
ALUMINIUM DE PREMIERE FUSION .....	549
PRODUCTION DE MAGNESIUM .....	557
PRODUCTION DE ZINC.....	558
BROYAGE DE BATTERIES .....	560
DECARBONATATION DANS LES FONDERIES DE FONTE .....	563
PRODUCTION DE MAGNESIUM.....	565
PRODUCTION DE NICKEL.....	568
<b>AUTRES USAGES ET PRODUCTIONS (SOLVANTS, GAZ FLUORES, ETC.).....</b>	<b>572</b>
UTILISATION DE LUBRIFIANTS .....	573
UTILISATION DE PARAFFINES ET CIRES.....	576
UTILISATION D'UREE.....	578
RECOUVREMENT DES ROUTES PAR L'ASPHALTE.....	582
MATERIAUX ASPHALTES POUR TOITURE .....	585
FABRICATION ET MISE EN ŒUVRE DE PRODUITS CHIMIQUES .....	588
DEGRAISSAGE ET NETTOYAGE A SEC .....	592
LAMPES A MERCURE .....	595
OXYDATEUR DE COVNM.....	599
AUTRES UTILISATIONS DE SOLVANTS .....	601
APPLICATION DE PEINTURE .....	607
FABRICATION DES SEMI-CONDUCTEURS ET PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES .....	611
CONSOMMATION DE GAZ FLUORES.....	614
REFRIGERATION ET CLIMATISATION.....	615
AGENTS D'EXPANSION DES MOUSSES .....	686
EXTINCTEURS D'INCENDIE .....	690
AEROSOLS .....	692
SOLVANTS .....	695
EQUIPEMENTS ELECTRIQUES .....	697
AUTRES UTILISATIONS DE HFC, PFC ET SF <sub>6</sub> .....	701
ANESTHESIE.....	708
AUTRES UTILISATIONS DE PRODUITS (HORS SOLVANT) .....	710
AUTRES SOURCES DE DECARBONATATION .....	716
INDUSTRIE DU BOIS .....	720
PAPETERIES .....	723
INDUSTRIES AGRO-ALIMENTAIRES.....	727
FABRICATION D'ACCUMULATEURS.....	733
EQUIPEMENT DE REFRIGERATION .....	736
<b>AGRICULTURE .....</b>	<b>738</b>

AGRICULTURE .....	739
FERMENTATION ENTERIQUE .....	817
GESTION DES DEJECTIONS ANIMALES.....	837
RIZIERES .....	879
SOLS AGRICOLES .....	882
ÉPANDAGE D'AMENDEMENTS BASIQUES ET D'ENGRAIS CONTENANT DU CARBONE.....	914
APPLICATION D'UREE.....	918
<b>UTILISATION DES TERRES, CHANGEMENT D'AFFECTATION DES TERRES ET FORESTERIE (UTCATF) .....</b>	<b>920</b>
UTILISATION DES TERRES, CHANGEMENT D'AFFECTATION DES TERRES ET FORESTERIE (UTCATF) – GENERAL .....	921
TERRES FORESTIERES (FORESTLAND).....	966
TERRES CULTIVEES (CROPLAND) .....	1009
PRAIRIES (GRASSLAND).....	1023
ZONES HUMIDES (WETLANDS) .....	1035
ZONES ARTIFICIALISEES OU ETABLISSEMENTS (SETTLEMENTS) .....	1042
AUTRES TERRES (OTHER LAND) .....	1050
PRODUITS LIGNEUX RECOLTES (HARVESTED WOOD PRODUCTS) .....	1056
BARRAGE DE PETIT-SAUT (GUYANE).....	1064
<b>DECHETS .....</b>	<b>1066</b>
TRAITEMENT DES DECHETS.....	1067
STOCKAGE DE DECHETS SOLIDES.....	1069
TRAITEMENTS BIOLOGIQUES DES DECHETS .....	1083
INCINERATION DE DECHETS .....	1090
INCINERATION DE DECHETS DANGEREUX .....	1092
CREMATION.....	1099
INCINERATION DE DECHETS HOSPITALIERS .....	1103
INCINERATION DES BOUES D'ASSAINISSEMENT .....	1109
BRULAGE DE PLASTIQUES AGRICOLES .....	1113
FEUX DE VEHICULES.....	1115
FEUX OUVERTS DE DECHETS VERTS.....	1119
TRAITEMENTS ET REJETS DES EAUX USEES.....	1122
FEUX DE BATIMENTS.....	1133
<b>SOURCES BIOTIQUES.....</b>	<b>1137</b>
EMISSIONS DE COV BIOTIQUES PAR LA VEGETATION / FORETS ET PRAIRIES NATURELLES.....	1138
VOLCANS .....	1143
FOUDRE.....	1146
<b>ANNEXES .....</b>	<b>1149</b>
REFERENCES .....	1150
ANNEXE 1 : NOMENCLATURE D'ACTIVITES EMETTRICES SNAP 97C .....	1190
ANNEXE 2 : NOMENCLATURE DE COMBUSTIBLES NAPFUE.....	1209
ANNEXE 3 : CORRESPONDANCES ENTRE LES NOMENCLATURES CRF / NFR ET SNAP .....	1213
ANNEXE 4 : CATEGORIES DU PLAN CLIMAT.....	1214
ANNEXE 5 : TERRITOIRES CONSTITUTIFS DE LA FRANCE – NOMENCLATURES DES UNITES TERRITORIALES STATISTIQUES ET ADMINISTRATIVES .....	1217

# Généralités

# ORGANISATION ADMINISTRATIVE ET PRINCIPE GENERAL DU SYSTEME NATIONAL D'INVENTAIRE

*(English translation available after the French text)*

## 1 - Système national d'inventaire

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

## 2 - Disposition institutionnelle, législatives et procédurale

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'inventaire des émissions de polluants et de gaz à effet de serre dans l'atmosphère appartient au Ministère chargé de l'environnement : Ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT).

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

La multiplicité des besoins conduisant à l'élaboration d'inventaires d'émission de polluants et de gaz à effet de serre dans l'atmosphère portant souvent sur des substances et des sources similaires justifie dans un souci de cohérence, de qualité et d'efficacité de retenir le principe d'unicité du système d'inventaire. Cette stratégie correspond aux recommandations des instances internationales telles que la Commission européenne et les Nations unies.

Les inventaires d'émission 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 de la CCNUCC, du GIEC et des règlements européens relatifs au suivi des GES notamment le règlement UE n°2018/1999 (Gouvernance). En particulier, la transparence des inventaires français et la richesse de son système d'informations, registres, statistiques, valorisation des travaux de recherches, etc., sont des qualités

importantes attendues par les instances internationales, notamment dans le cadre et l'esprit de l'Accord de Paris.

### Répartition des responsabilités

Les responsabilités sont réparties comme suit :

- La maîtrise d'ouvrage de la réalisation des inventaires nationaux et la coordination d'ensemble du système sont assurées par le MTECT.
- D'autres ministères et organismes publics contribuent aux inventaires d'émissions nationaux par la mise à disposition de données et statistiques utilisées pour l'élaboration des inventaires.
- L'élaboration des inventaires d'émission nationaux 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 par le MTECT. Le Citepa assiste le MTECT 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 MTECT, système de déclaration annuelle des rejets de polluants, etc.) pour lesquels il est important de veiller à la cohérence des informations.
- Le MTECT 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'ADEME et 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 nationaux (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
Energie	Bilan de l'énergie. Consommation d'énergie en France. Consommation et ventilation des produits pétroliers à usage non énergétique. Consommations d'énergie dans l'industrie. Consommations d'énergie dans le résidentiel et le tertiaire. Consommations d'énergies renouvelables dans l'industrie et le résidentiel/tertiaire. Bilan de la pétrochimie.	Ministère chargé de l'industrie
	Déclarations annuelles des rejets polluants de certaines installations classées.	Ministère chargé de l'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
UTCF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)	Statistiques forestières. Utilisation du territoire. Récolte de bois et production de sciages.	Ministère chargé de l'agriculture et de la pêche
	Accroissement et stocks forestiers en 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 MTECT pilote le Groupe de concertation et d'information sur les inventaires d'émission (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 Ecologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT), 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 MTECT notamment le SDES,
  - o du Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire (MASA), notamment le Service de la statistique et de la prospective (SSP) et 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'émission est partagée entre plusieurs services du MTECT 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 Economique 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), ainsi que la diffusion de cet inventaire au titre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC).
    - o A la demande du MTECT, le Citepa assure la diffusion de tous les inventaires qu'il réalise par, notamment, la mise en accès public libre des rapports d'inventaires correspondant 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 MTECT dans le cadre de l'évaluation de la modélisation intégrée pour ce qui concerne les émissions. Le Citepa assure conjointement avec le MTECT la diffusion de l'inventaire d'émission dit « SECTEN » qui présente d'une manière générale des séries longues et autres données spécifiques relatives aux sources émettrices en France.

### 3 - Aperçu de la planification, préparation et gestion des inventaires

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'émission (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.

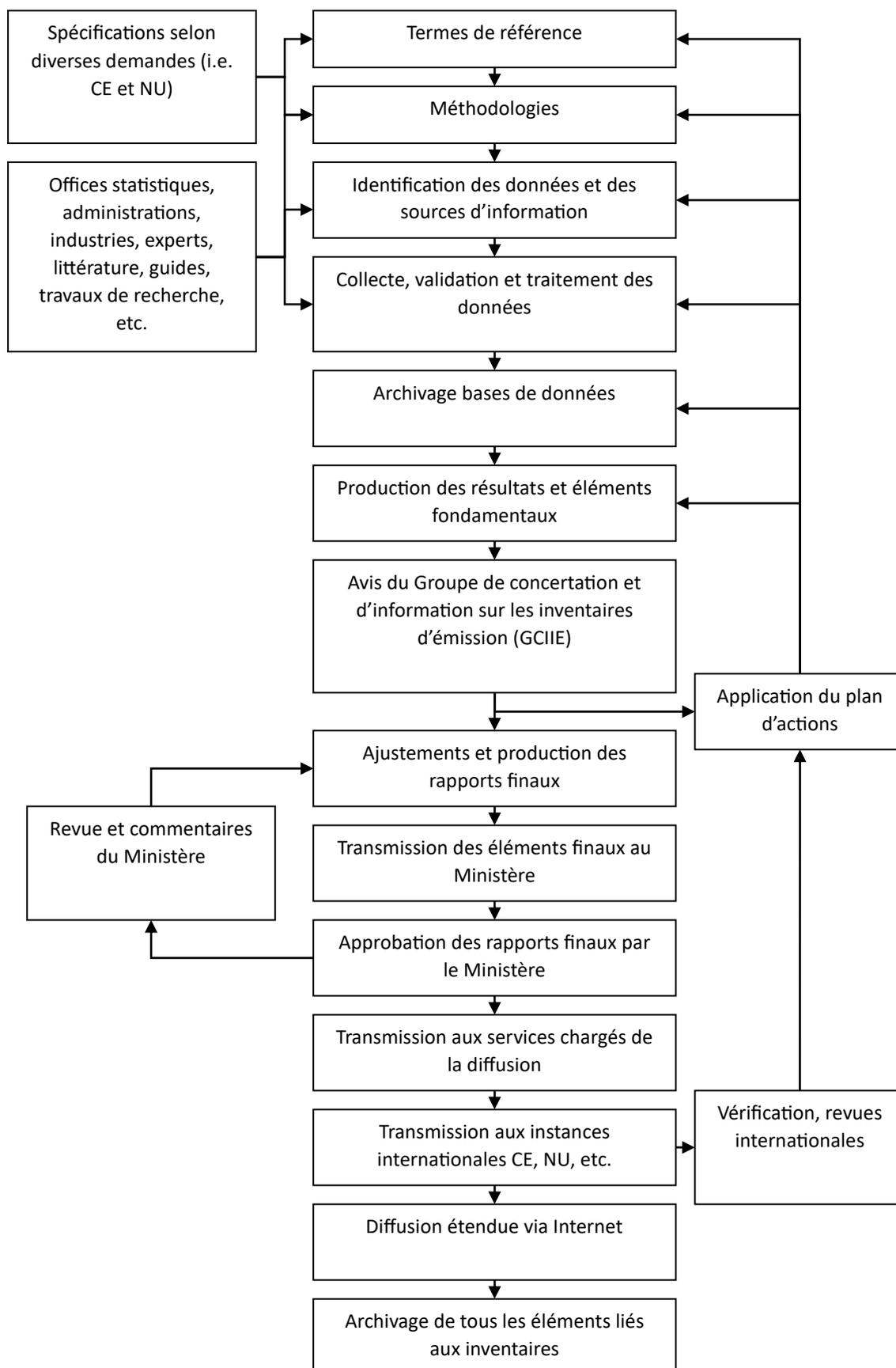
Les ajustements éventuels sont apportés à l'édition de l'inventaire en cours ou dans le cadre de l'application du plan d'amélioration des inventaires qui comporte des actions à plus long terme.

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

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

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

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



### Les différents inventaires gérés

Le SNIEBA permet de produire des inventaires d'émission en réponse à différents besoins de données formulés et définis par divers acteurs notamment les instances internationales comme la Commission européenne dans le cadre des directives européennes et les Nations unies dans le cadre des conventions ratifiées par la France.

Le tableau ci-après regroupe l'ensemble des inventaires actuellement régulièrement produits par le SNIEBA et ceux qui s'y rattachent de manière annexe.

De nombreux besoins ponctuels en données relatives aux émissions de polluants dans l'atmosphère peuvent être satisfaits à partir des bases de données créées pour répondre aux exigences récurrentes, y compris des inventaires complets. Ces cas ne sont pas présentés dans le tableau ci-après qui se limite aux principaux inventaires indispensables vis-à-vis des engagements de la France et des inventaires les plus importants de par leur nature et leurs caractéristiques notamment la mise à disposition de séries longues et d'éclairages spécifiques.

Cadre	Organisme demandeur	Nom de l'inventaire	Périodicité
Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques	Nations unies (secrétariat de la convention) et Commission européenne	CCNUCC	Annuelle
Convention de la Commission Economique pour l'Europe des Nations unies sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance	Nations unies - Commission Economique pour l'Europe (secrétariat de la convention) et Commission européenne	CEE-NU / NFR & NEC	Annuelle
Convention de la Commission Economique pour l'Europe des Nations unies sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance	Nations unies - Commission Economique pour l'Europe (secrétariat de la convention)	EMEP spatialisé	Tous les 4 ans
Directives européennes relatives aux Grandes Installations de Combustion et directive IED	Commission européenne	GIC / IED	Annuelle
Directive européenne sur les réductions d'émissions nationales de PA	Commission européenne	CEE-NU / NFR & NEC	Annuelle
Règlement européen 691/2011 relatif aux comptes économiques environnementaux	EUROSTAT	NAMEA	Annuelle
Statistiques Environnement	EUROSTAT et OCDE	Joint Questionnaire	Périodique
SNBC / Stratégie National Bas-Carbone de la France	MTE / DLCES	Plan Climat	Annuelle

Données nationales sur les émissions par secteur économique	Citepa et MTECT	SECTEN	Annuelle
---	-----------------	--------	----------

**Les différents inventaires supportés par le SNIEBA actuellement sont :**

- Les inventaires dits au format "CEE-NU"/NFR & NEC portent sur les substances liées à l'acidification, l'eutrophisation et la pollution photochimique, les métaux lourds, les produits organiques persistants et les poussières (totales et fines), soit au total 24 polluants couverts par la Convention sur la Pollution Atmosphérique Transfrontière à Longue Distance et la directive « NEC » sur les réductions d'émissions nationales de polluants. La couverture géographique est la France métropolitaine. Les séries annuelles de données d'émission sont produites depuis les années 1980 (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO), 1988 (COVNM), et 1990 (autres substances). Depuis la révision du protocole de Göteborg, le carbone suie ou *black carbon* (BC) a été ajouté à la liste des polluants inventoriés à titre volontaires.
- Les inventaires dits au format "CCNUCC" portent sur les gaz à effet de serre directs (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>) (exprimés en masse et/ou en CO<sub>2</sub> équivalent via les PRG), et les quatre gaz à effet de serre indirect (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM, CO) qui doivent être rapportés dans le cadre de la Convention sur les changements climatiques. La couverture géographique comprend la métropole et l'Outre-mer en tout ou partie (cf. annexe 5). Le format de rapport est en général compatible avec celui de la CEE-NU mais il existe une différence de couverture géographique dans le cas de la France (que la Métropole pour la CEE-NU). La série annuelle commence en 1990 pour la CCNUCC. Dans le cadre des engagements de réductions d'émissions de GES (Protocole de Kyoto puis Accord de Paris), cet inventaire fait l'objet d'une déclinaison particulière relative aux engagements climat de la France au sein de l'Union Européenne (périmètre France UE i.e. Métropole et Outre-mer faisant partie de l'UE) qui se différencie du périmètre géographique générale CCNUCC de la France (Métropole et l'ensemble de l'Outre-mer).
- Les inventaires dits au format "GIC"/ "IED" portent sur le SO<sub>2</sub>, les NO<sub>x</sub> et les poussières totales des grandes installations de combustion. La couverture géographique inclut la métropole et l'outre-mer inclus dans l'UE. Les séries annuelles de données d'émission sont produites depuis l'année 1990 (SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>). Depuis l'exercice relatif aux émissions de 2004, les poussières totales ont été ajoutées, ainsi qu'une extension du périmètre des équipements couverts avec l'inclusion des turbines à gaz en application de la directive 2001/80/CE. Depuis 2018, le rapportage des GIC est réalisé dans le cadre de la directive « IED » N° 2010/75/UE relative aux émissions industrielles. Dans cette nouvelle forme, le périmètre des équipements couverts est étendu à toutes les turbines, quelle que soit leur date d'autorisation, et aux moteurs. Le mode de calcul de la puissance prise en compte est aussi revu, puisqu'elle exclue les équipements de moins de 15 MW.
- L'inventaire dit au format "SECTEN" (sectorisation économique et énergétique) reprend l'ensemble des polluants et gaz à effet de serre étudiés dans le SNIEBA et propose des données par secteurs et sous-secteurs conventionnels reflétant les différents acteurs économiques usuels. D'autres résultats sectorielles (notamment sur les émissions liées à l'énergie, aux transports, etc.) et divers indicateurs sont également fournis. Des séries chronologiques annuelles s'étendent depuis 1960 (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>), 1980 (NH<sub>3</sub>), 1988 (COVNM) et 1990 (autres substances) ainsi qu'une pré-estimation de l'année écoulée. La couverture géographique se limite à la métropole pour les polluants et au périmètre France territoires UE (Métropole et Outre-mer inclus dans l'UE) en priorité pour les gaz à effet de serre. La couverture des sources est identique à celle de la CEE-NU et de la CCNUCC.
- L'inventaire dit au format "EMEP" est la composante spatialisée du format "CEE-NU/NFR & NEC". Sa production était quinquennale avant 2017 et tous les 4 ans à partir du rapportage 2017 (relativement à l'inventaire 2015 spatialisé). Il fournit une cartographie des émissions selon la grille EMEP 0.1°x0.1° depuis 2017 et différencie les plus gros émetteurs (Grandes Sources Ponctuelles) ainsi que la hauteur des rejets. La couverture géographique se limite à la métropole car les territoires situés outre-mer, quel que soit leur statut au regard de la République française ou de l'Union européenne, se situent hors de la zone EMEP.
- La déclinaison des inventaires selon une approche économique (sur la base de secteurs d'activités économiques NACE) et sur le périmètre de la comptabilité nationale (approche « résidents »)

correspond au format "NAMEA". Il répond au règlement 691/2011 (EUROSTAT). La couverture géographique se limite à la métropole et l'Outre-mer inclus dans l'UE. Les séries de données sont disponibles pour : SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, COVNM (totaux et spéciation), CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC, SF<sub>6</sub>, métaux lourds (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn) depuis 1980 pour les cinq premiers cités, 1988 (COVNM) et 1990 (autres substances) et les particules (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1.0</sub>).

- L'inventaire dit au format "JQ" demandé par l'OCDE et EUROSTAT est rempli par le SDES, service statistique du MTECT, à partir de données et correspondances dérivant de l'inventaire CEE-NU.

Les inventaires dans le cadre du SNIEBA sont produits aux échéances indiquées ci-après, N étant la dernière année d'inventaire historique à rapporter.

Inventaire	Élément de l'inventaire	Echéance requise	Echéance effective
CCNUCC	Tableaux de données GES pour la CCNUCC (France entière y.c. tout l'Outre-mer)	15 avril N+2 pour NU	15 avril N+2
CCNUCC	Tableaux de données GES pour UE (France au périmètre UE)	15 janvier & 15 mars N+2 pour CE	15 janvier & 15 mars N+2
CCNUCC	Rapport y compris méthodologie	15 mars N+2 pour CE, 15 avril N+2 pour NU	15 mars N+2
CEE-NU/NFR & NEC	Tableaux de données NFR	15 février N+2 pour CE et NU	15 février N+2
CEE-NU/NFR & NEC	Rapport y compris méthodologie	15 mars N+2 pour CE et NU	15 mars N+2
CEE-NU/EMEP spatialisé	Rapport et tableaux de données	1 <sup>er</sup> mai N+2 (tous les 4 ans depuis 2017)	Dès que disponible
GIC/IED	Tableaux de données	30 novembre N+1	30 novembre N+1
SECTEN	Tableaux de données	Aucune	Produit fin avril N+2, diffusé en mai N+2
JQ	Tableaux de données	Non déterminé	A la demande
NAMEA	Rapport et tableaux de données	Juillet N+2	Juillet N+2
Plan Climat	Tableaux de données	Aucune	Inclus dans les tableaux SECTEN diffusés en mai N+2
Autres	A la demande	Non déterminé	A la demande selon faisabilité

## ADMINISTRATIVE ORGANISATION AND GENERAL PRINCIPLES OF THE NATIONAL INVENTORY SYSTEM

*In case of discrepancies between English and French versions, the French one has to be considered as the official relevant version.*

### 1 - National inventory system

This section describes the main components and administrative arrangements of the National Air Pollutant and GHG Emissions Inventory System, as defined by the French Ministry in charge of Environment, especially through the Ministerial Order of 24 August 2011 on "Système National d'Inventaires d'Emissions et de Bilans dans l'Atmosphère" (SNIEBA).

### 2 - Institutional, legal and procedural arrangements

The authorities are keen to have at their disposal data on air pollutant emissions that correspond quantitatively and qualitatively to the different national and international needs. This is because these data are important to identify the sources concerned, to define appropriate action programs for emission prevention and control, to inform the large number of stakeholders involved, in different capacities, in the various issues linked to air pollution.

Responsibility for defining and overseeing the National Air Pollutant Emissions Inventory System (known by its acronym SNIEBA) falls to the French Ministry in charge of Environment: Ministry of Ecological Transition and Territorial Cohesion (MTECT).

In liaison with the other Ministries involved, the MTECT makes the decisions for establishing and operating the SNIEBA, particularly the institutional, legal and procedural arrangements. Thus, the MTECT defines and allocates responsibilities to the different bodies involved. It implements the arrangements that establish the processes for determining estimation methods, collecting, processing and storing data, as well as for quality control and assurance, disseminating the inventories both at national and international levels, and for monitoring implementation.

Given the multiple needs for the preparation of air pollutant emissions inventories which often cover similar substances and sources, it is justified, for the sake of consistency, quality and efficiency, to base the inventory system on a single core. This strategy is in line with recommendations made by international organisations, such as the European Commission and the United Nations.

The emission inventories must guarantee various qualities: consistency, comparability, transparency, accurateness, punctuality, exhaustiveness. The organisation of the system depends on these qualities, both in administrative and technical terms.

In order to take into account the aspects included in the beginning of this section, the emission inventories present emissions occurring in past years, as well as emissions projected for future dates, for applications as and when it is necessary.

This chapter describes the organisation of the current system which is the subject of the Ministerial Order of 24 August 2011 which repeals and supersedes the Ministerial Order of 29 December 2006 concerning the National Air Pollutant Emissions Inventory System (SNIEPA).

This organisation is in line with the guidelines on national inventory systems in the frame of UNFCCC, IPCC and the requirements of the governance regulation (EU) 2018/1999. In particular, the transparency of French inventories and the richness of its information system, registers, statistics, promotion of research works, etc., are important qualities expected by international bodies, and especially in the context and spirit of Paris Agreement.

## Distribution of responsibilities

Responsibilities are distributed as follows:

- The MTECT is in charge of overseeing production of the national inventories and overall coordination of the system.
- Other ministries and public bodies contribute to the national emission inventories by providing data and statistics used in the preparation of the inventories.
- The MTECT has entrusted Citepa with the following tasks: preparing the national emission inventories with regard to methods and preparing their updating, data collection and processing, data storage, production of the reports and various means of disseminating the information, control and quality management. Citepa assists the MTECT in overall coordination of the National Air Pollutant Emissions Inventory System. Mention should be specifically made of the coordination that must be ensured between the emission inventories and emitter registers such as the E-PRTR and the greenhouse gas emission allowance register in the frame of the ETS directive, not forgetting other aspects (guides published by the MTECT, the annual pollutant emission reporting system, etc.). It is important to see to it that the information for these aspects is also consistent.
- The MTECT provides Citepa with all information it has at its disposal under existing legislation and regulations, such as the annual notifications made by Classified Installations under the pollutant emission reporting system, as well as the results of different studies providing greater knowledge on emissions that it commissioned either internally (ie within its departments) or from other bodies, such as ADEME and the National Institute for Industry, Environment and Risks (INERIS). Furthermore, the SNIEBA Ministerial Order of 24 August 2011 set a list of statistics and data from public organisms or organisms having a mission of public utility, that are used for the national emission inventories (cf. following table relating to the annex II of the SNIEBA Ministerial Order).
- The MTECT steers the Emissions Inventories Consultation and Information Group (GCIIE) whose tasks are:
  - giving its opinion on the results of estimates produced in the inventories,
  - giving its opinion on the changes made to the methodology for estimating emissions,
  - giving its opinion on the action plan for improving inventories for the future,
  - issuing recommendations on all subjects directly or indirectly linked to emission inventories in order to ensure consistency and smooth running of actions, and encourage synergies, etc.,
  - recommending actions for improving the estimation of emissions in the context of research programs,

## 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
Energie	Bilan de l'énergie. Consommation d'énergie en France. Consommation et ventilation des produits pétroliers à usage non énergétique. Consommations d'énergie dans l'industrie. Consommations d'énergie dans le résidentiel et le tertiaire. Consommations d'énergies renouvelables dans l'industrie et le résidentiel/tertiaire. Bilan de la pétrochimie.	Ministère chargé de l'industrie
	Déclarations annuelles des rejets polluants de certaines installations classées.	Ministère chargé de l'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
UTCF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)	Statistiques forestières. Utilisation du territoire. Récolte de bois et production de sciages.	Ministère chargé de l'agriculture et de la pêche
	Accroissement et stocks forestiers en 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

**Today, the GCIE is made up of representatives from:**

- o the Ministry of Ecological Transition and Territorial Cohesion (MTECT) through different Directorates:
  - the General Directorate for Energy and Climate (DGEC), the General Directorate for Risk Prevention (DGPR), the General Directorate for Spatial Planning, Housing and Nature (DGALN),
  - the Statistics Department SDES,
  - the General Directorate for Infrastructure, Transport and Maritime Affairs (DGITM), and the General Directorate for Civil Aviation (DGAC),
- o the Ministry of Agriculture and food sovereignty (MASA), particularly the Statistics and Forward Studies Department (SSP) and the General Directorate of Economic Performance (DGPE),
- o the Ministries of Economy, Finance and Recovery, specifically the General Directorate of the National Institute of Statistics and Economic Studies (INSEE), and the General Directorate of the Treasury,
- o the French Agency for Ecology Transition (ADEME),
- o the National Institute of Industrial Environment and Risks (INERIS)
- o various institutions and agencies that are also invited as observers: this is the case of approved regional agencies for air quality monitoring (AASQA), regional observatories of greenhouse gas emissions or the High Council for the Climate (HCC).
- The task of disseminating emissions inventories is shared between several departments within the MTECT that receive the inventories approved by the DGEC:
  - o The DGEC is in charge of disseminating the emission inventories which are to be submitted to the European Commission under EU Directives, particularly the inventory on Large Combustion Plants (LCPs) in the frame of the Directive 2010/75/EC relating to the Industrial Emissions (IED) as well as the inventories under Directive (EU) 2016/2284 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants. The DGEC is also in charge of disseminating the inventories under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRAP) adopted under the aegis of the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE).
  - o The DGEC is also in charge of submitting the inventory of greenhouse gas emissions to the European Commission, prepared under the EU regulation 2018/1999 (Governance of the Energy Union and Climate Action), and submitting this inventory to the Secretariat of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).
  - o On the MTECT's request, Citepa is in charge of disseminating all the inventories that it produces, in particular by ensuring free, public access of the corresponding reports at the following Internet address: <https://www.citepa.org/fr/le-citepa/publications/rapports-d-inventaires>. Some of these reports are also available on other Internet sites or disseminated in other forms by other bodies. Citepa is also in charge of disseminating technical information on methods used for estimating emissions and has been appointed technical correspondent of the above-mentioned international institutions. Thus, Citepa is the National Focal Point appointed by the MTECT for integrated modelling assessment of emissions. Along with the MTECT, Citepa is jointly in charge of disseminating the emissions inventory known as "SECTEN". This inventory provides a general overview of long time series and sector-specific data of emissions in France.

### 3 - Overview of inventory planning, preparation and management

The different stages in the process are explained and illustrated in the chart below.

- Based on the different needs, and the underlying requirements, the terms of reference are defined.
- The methodologies to be applied are selected and developed, taking into account available knowledge and data and, in particular, aspects included in guidelines issued by the United Nations or the European Commission.
- The necessary data and the sources likely to produce them are identified.
- The data are collected, validated, processed in accordance with established processes, taking into account confidentiality-related criteria.
- The data obtained are stored in data bases for subsequent processing.
- The main elements useful for approving the inventories (overview results, main analyses, major changes, in particular linked to methodological developments) are produced for submission to the GCIE.

The GCIE issues its opinion on the inventories and, if need be, on the necessary adjustments to be made. It issues recommendations and proposes an action plan aimed at improving the inventories, with regard to accuracy or exhaustiveness of the estimations and aspects concerning form, analysis, presentation of the results or any other relevant point.

The Environment Ministry takes final decisions as regards inventories.

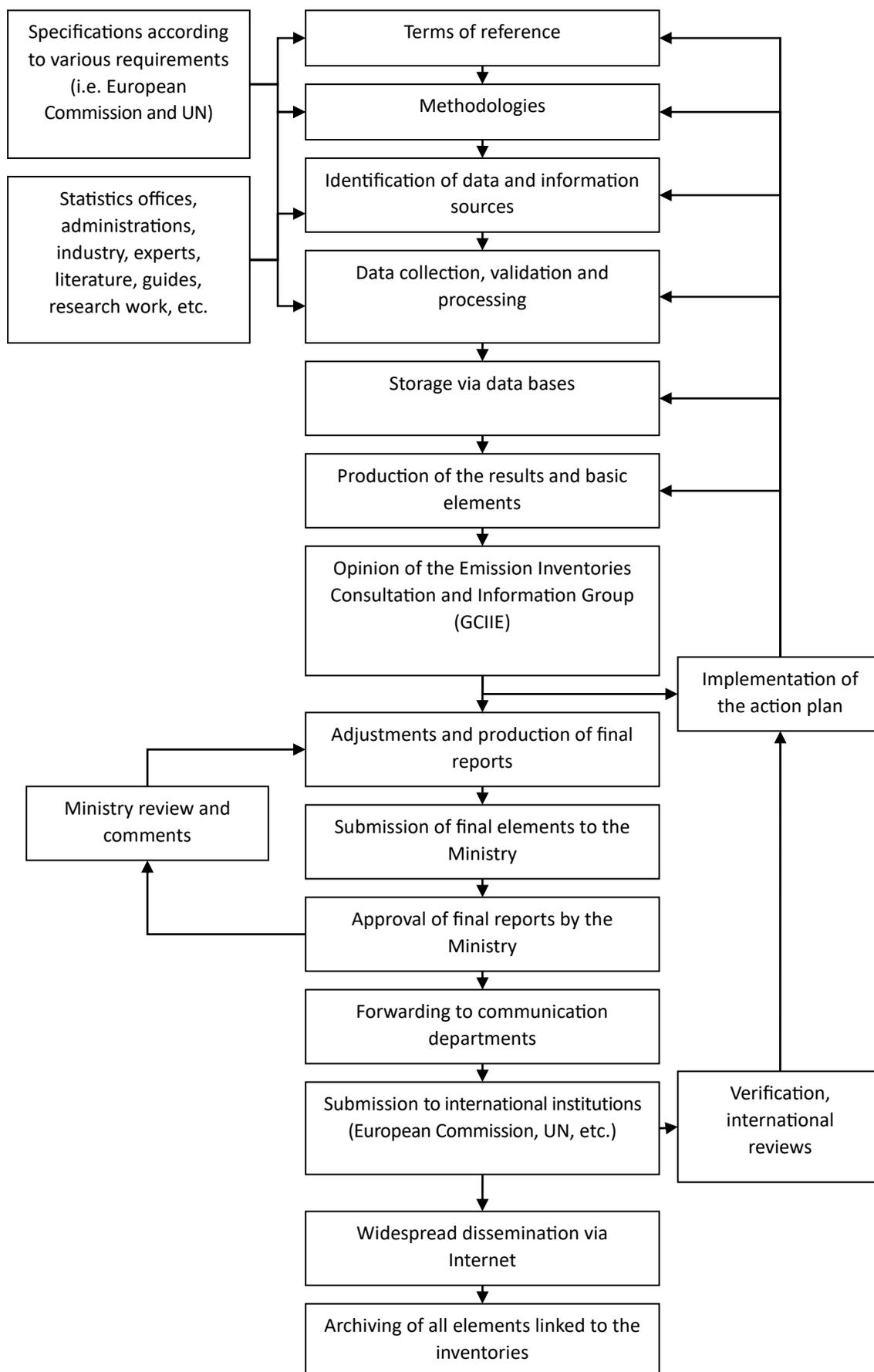
Any adjustments are made to the latest edition of the inventory or as part of the implementation of the inventories' action plan which sets longer-term actions.

The finalised elements are submitted to MTECT which, after examining and approving them, forwards them to the international institutions.

Putting the inventories online on Citepa's Internet site ensures that they are widely disseminated. Other means of dissemination are also used by the different bodies that use the reports (publications, communications and sending the reports to other bodies).

All the elements used to compile the inventories are archived to ensure traceability.

Verifications are made, in particular by international institutions. Some, such as the reviews by expert teams sent by the United Nations to the countries concerned, involve in-depth examinations of the methodologies and procedures involved in reporting the inventories. Added to this, are reviews of EU in the frame of its own QAQC system for the EU emission inventories based on the compilation of Member State inventories. Furthermore, all the remarks made by various inventory users and anomalies identified, as well as the result of actions implemented as part of quality assurance (cf. section "Quality Assurance and Control Program") contribute to verifications. All these elements feed into the action plan and are used to improve future editions of the inventories.



### The different inventories managed

The SNIEPA enables emissions inventories to be produced in response to different data needs expressed and defined by various stakeholders, specifically the European Commission under EU Directives and the United Nations under Conventions ratified by France.

The table below provides an overview of all the inventories currently produced regularly by the SNIEPA and those associated with it.

In many cases, the need for data on pollutant emissions to air may be met using data bases established to comply with recurring requirements, including complete inventories. These cases are not presented in the table below which is limited to the main inventories which are essential under France's commitments and the most important inventories owing to their nature and their features, particularly the availability of long time-series and specific explanations.

Framework	Commissioning body	Inventory name	Frequency
United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)	United Nations (UNFCCC Secretariat) and European Commission	UNFCCC	Annual
Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRAP)/United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)	United Nations - Economic Commission for Europe (CLRAP Secretariat) and European Commission	UNECE / NFR & NEC	Annual
Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRAP)/United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)	United Nations - Economic Commission for Europe (CLRAP Secretariat)	EMEP gridded inventory	Every four years
EU Directives on Large Combustion Plants and IED Directive	European Commission	LCP / IED	Annual
EU Directive on National Emission Reductions	European Commission	UNECE / NFR & NEC	Annual
Regulation 691/2011 on economic environmental accounts	EUROSTAT	NAMEA	Annual
Environmental statistics	EUROSTAT and OECD	Joint Questionnaire	Periodically
National Low-Carbon Strategy of France (SNBC)	MTE / DLCES	Climate Plan	Annual
National emission data per economic sector	Citepa and MTECT	SECTEN	Annual

**The different inventories currently carried out under the SNIIEPA are:**

- the inventories in the so-called "UNECE"/NFR & NEC format cover substances causing acidification, eutrophication and photochemical pollution, heavy metals, persistent organic pollutants and (total and fine) particulate matter, i.e. in all, 24 pollutants covered by the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution and the "NEC" Directive on National Emission Reductions of pollutants. Mainland France is the geographical area covered. Annual time series since 1980 (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO), 1988 (NMVOCs), 1990 (other substances).
- the inventories in the so-called "UNFCCC" format cover the direct greenhouse gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>) (expressed as mass and/or as CO<sub>2</sub> equivalent using GWP) and the four indirect greenhouse gases (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOCs, CO) which are to be reported under requirements established in the Climate Convention. The geographical areas covered are mainland France and the overseas territories in whole or in part (cf. Annex 5). The report format is in general compatible with that of the UNECE but there is a difference in geographical coverage in the case of France (only Mainland of France for UNECE/CLRTAP). The annual time-series start since 1990 for the UNFCCC. Within the framework of GHG reduction commitments (Kyoto Protocol, then Paris Agreement), this inventory has a specific scope relating to France's climate commitments within the European Union (France EU i.e. Mainland and Overseas territories being part of EU) which differs from the general UNFCCC geographical scope of France (Mainland and all of the Overseas territories).
- the inventories in the so-called "LCP" / "IED" format cover SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and total particulate matter emitted by large combustion plants. The geographical area covered is mainland France and the overseas territories excluding the PTOM (cf.annex 12). Annual time series since 1990 (SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub>). Since the reporting year 2004, emissions of total particulate matter have been added, and the scope has been extended to cover gas turbines, as required under Directive 2001/80/EC. Since 2018, the reporting of LCP emissions is done in the frame of the "IED" Directive N° 2010/75/EU. In this frame, the scope of the equipment is extended to all turbines, whatever the date of their authorization, and the engines. The method of calculating the power taken into account is also revised, since it excludes equipment of less than 15 MW.
- the inventory in the so-called "SECTEN" format (economic and energy sector analyses) covers all the pollutants studied by the SNIIEPA and presents data by traditional sector and sub-sector, reflecting the different economic stakeholders. Other results, particularly on energy-related and transport-related emissions and various indicators are also provided. Annual time-series are available dating back to 1960 (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>), 1980 (NH<sub>3</sub>), 1988 (NMVOCs) and 1990 (other substances), as well as a preliminary estimate of the previous year. The geographical area covered is limited to mainland France for air pollutants and to the French EU territories (i.e. mainland and overseas territories belonging to EU) for greenhouse gases. Source coverage is identical to that of the UNECE and the UNFCCC.
- the inventory in the so-called "EMEP" format is the spatialised component of the "UNECE/NFR & NEC" format. This inventory was produced every five years before 2017, and every four years since the reporting in 2017 (relating to the EMEP 2015 gridded inventory). It provides maps of emissions according to the EMEP scale 0.1°x0.1° since 2017 and highlights the largest emitters (large point sources) as well as the height at which the substances are emitted. The geographical area covered is limited to mainland France since the overseas territories, irrespective of their status regarding France or the EU, are located outside the EMEP area.
- presenting the inventories following an economic approach the "NAMEA" format is based on the sectors of NACE economic activities and on the scope of the national accounts, in accordance with the regulation 691/2011 (EUROSTAT). Actually, the geographical area covered is limited to mainland France and overseas included in EU. Annual time series are available for SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, NMVOCs (total and speciation), CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>, heavy metals (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn) since 1980 for the first five aforementioned substances, 1988 (NMVOCs) and 1990 (other substances), and particulate matter (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>).
- the inventory in the so-called "JQ" format, as requested by OECD and EUROSTAT is compiled by the Statistics Office of the MTECT Ministry using data and correspondences derived from the UNECE inventory.

The inventories compiled under the SNIEBA are produced at the dates indicated below, N being the latest year of emission inventory to be reported.

Inventory	Inventory elements	Required deadline	Effective deadline
UNFCCC	GHG data tables for UNFCCC (all France)	15 April N+2 for the UN	15 April N+2
UNFCCC	GHG data tables applied to the EU perimeter of France	15 January & 15 March N+2 for the European Commission	15 January & 15 March N+2
UNFCCC	Report including methodology	15 March N+2 for the European Commission, 15 April N+2 for the UN	15 March N+2
UNECE/NFR & NEC	NFR data tables	15 February N+2 for the European Commission and UN	15 February N+2
UNECE/NFR & NEC	Report including methodology	15 March N+2	15 March N+2
UNECE/EMEP gridded	Report and data tables	1 March N+2 (every 4 years since 2017)	As soon as available
LCP/IED	Data tables	30 November N+1	30 November N+1
SECTEN	Data tables	None	Produced by end April N+2, released by May N+2
JQ	Data tables	Not determined	On request
NAMEA	Report and data tables	July N+2	July N+2
Climate Plan	Data tables	None	Included in SECTEN tables released by May N+2
Others	On request	Not determined	On request depending on feasibility

## PROGRAMME D'ASSURANCE ET CONTROLE DE LA QUALITE

*(English translation available after the French text)*

L'élaboration d'un inventaire d'émission 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.

### 1 - Management de la qualité

Le système national d'inventaire d'émission est établi en intégrant les critères usuels applicables aux Systèmes de Management de la Qualité (SMQ). Le Citepa, qui a la charge de réaliser 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'émission (GCIIE).
- Développement des procédures de calcul notamment des modèles de calcul des émissions, des bases de données, du reporting.
- Recherche d'un niveau élevé de traçabilité et de transparence.
- Mise en œuvre et enregistrement de contrôles relatifs aux étapes importantes et à risques de la réalisation de l'inventaire, à travers de multiples contrôles internes, tant sur les données d'entrée que sur les calculs, les bases de données, les rapports, l'archivage des données, le suivi des modifications (corrections d'erreurs ou améliorations) et les non conformités. Plusieurs outils destinés à accompagner ces contrôles ont été développés.
- Validation et approbation des résultats des inventaires, suite à l'avis formulé par le Groupe de concertation et d'information sur les inventaires d'émission (GCIIE).
- Validation et approbation des rapports et autres supports d'information par le Ministère chargé de l'environnement.

- Archivage systématique des éléments nécessaires pour assurer la traçabilité requise.
- Diffusion des informations et produits correspondants.
- Compatibilité avec les exigences communautaires en matière de communication des données et des caractéristiques des inventaires d'émission nécessaires à la Commission Européenne. En particulier, afin de lui permettre de préparer les inventaires de l'Union Européenne sur la base des inventaires des Etats membres et contribuer notamment à l'atteinte des exigences relatives à la qualité que la Commission met en œuvre à son niveau (i.e. en ce qui concerne les gaz à effet de serre dont la surveillance est soumise à des dispositions réglementaires particulières).
- Amélioration permanente de la qualité des estimations en développant les procédures pour éviter d'éventuelles erreurs systématiques, réduire les incertitudes associées, couvrir plus complètement les substances et les sources émettrices, etc. visant à satisfaire les objectifs relatifs à la qualité. Un plan d'action est défini et mis régulièrement à jour. Il intègre les améliorations requises et possibles en tenant compte des recommandations du GCIE.
- 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.

## 2 - 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, 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.

### 3 - Contrôle de la qualité

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

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

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

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

- Traitement des données :

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

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

- Contrôle et validation interne des résultats :

Avant d'être exportée vers ces bases de données, plusieurs étapes de contrôles complémentaires sont réalisées. Chaque fiche de calcul sectorielle est soumise par son auteur à un contrôle au moyen d'un outil spécialement développé à cette fin par le Citepa, appelé VESUVE<sup>1</sup>. 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.

---

<sup>1</sup> VESUVE : VÉrification 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'émission.

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 :

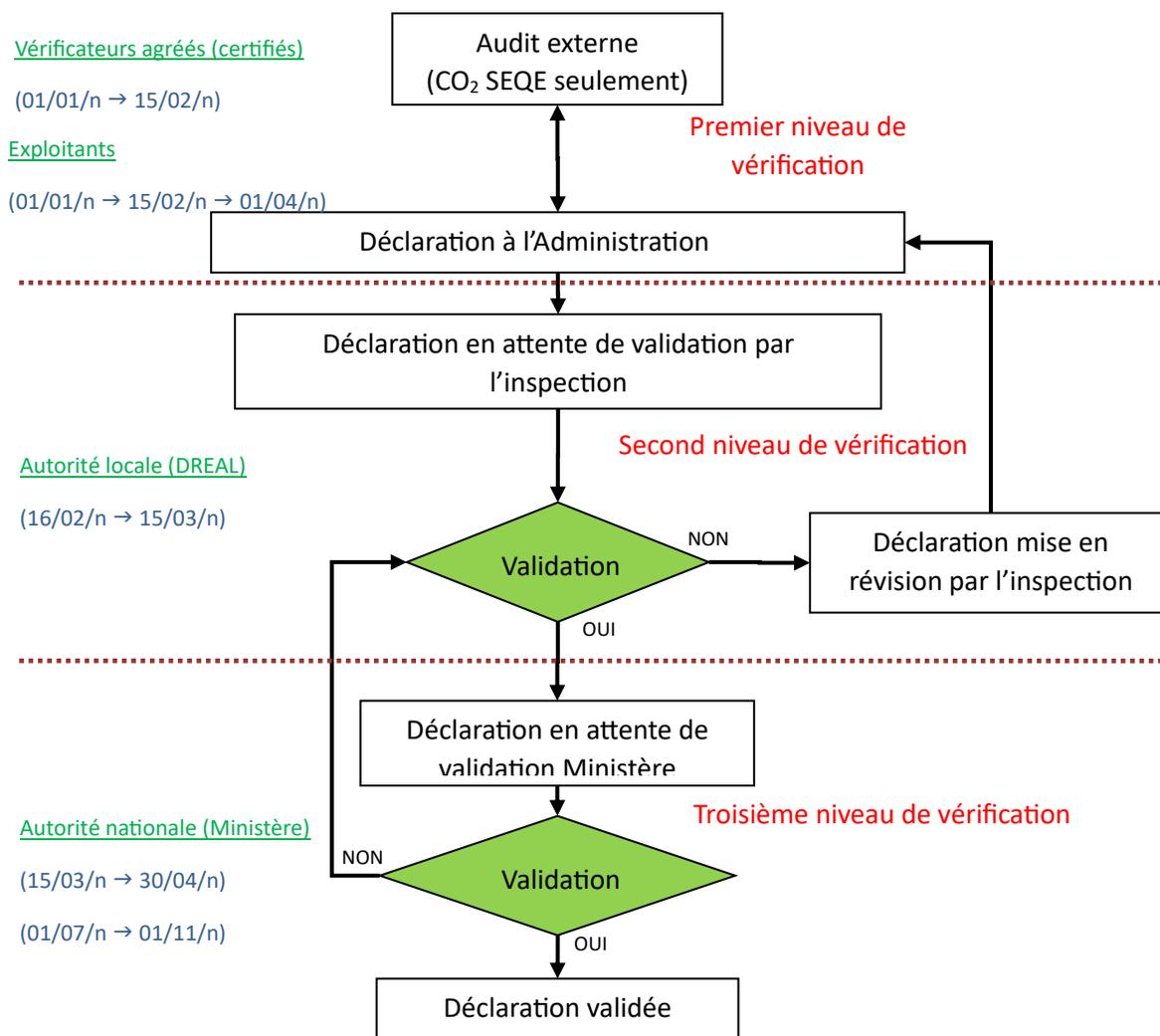
- A assurer la disponibilité de la documentation utilisée pour les inventaires d'émission,
- Au classement et à l'archivage de toutes les données et informations considérées pour chaque inventaire,
- A préserver l'éventuelle confidentialité de certaines données.

Le tableau présenté au paragraphe 5 ci-après fournit la liste des vérifications effectuées en référence aux Bonnes Pratiques du GIEC. Bien d'autres dispositions s'y ajoutent. Voir également la figure après le paragraphe 4.

#### 4 - Assurance de la qualité

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

- Les commentaires des membres du Groupe de coordination et d'information sur les inventaires d'émission (GCIIE) qui disposent en outre de leurs propres données de recoupement des éléments méthodologiques.
- Les évaluations des autorités locales (DREAL) pour ce qui concerne les données individuelles d'activité et/ou d'émission de polluants déclarées annuellement qui concernent plus de 10 000 installations dont la totalité des installations soumises au SEQE. 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.
- Déclaration à l'Administration



- 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

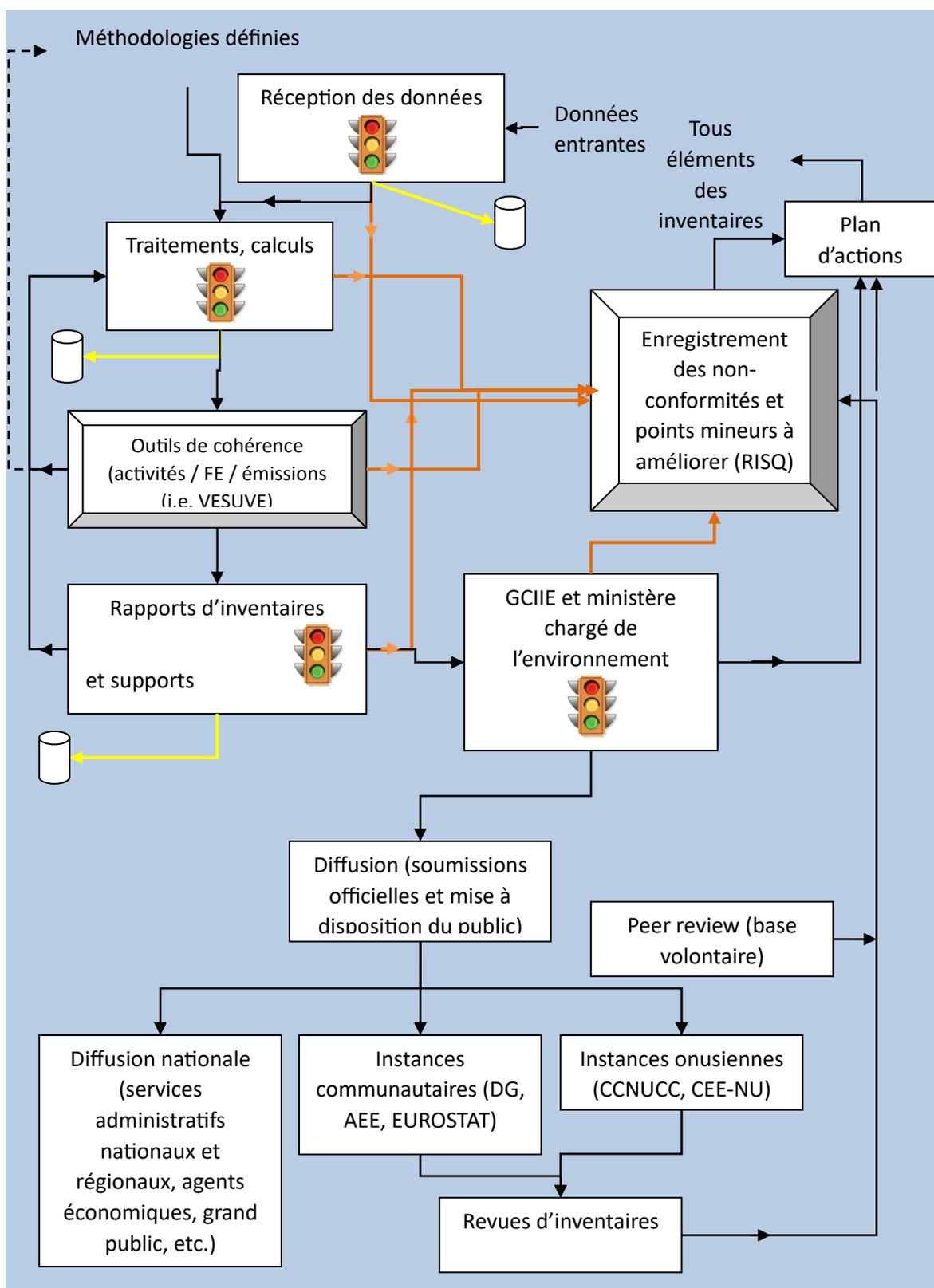
par des tierces personnes se heurte à la double difficulté de la disponibilité des compétences et des ressources requises. Dans ce registre, des opérations bilatérales entre experts de deux pays limitées à certains secteurs et / ou polluants sont des formules qui associent intérêt et plus grande facilité 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 RISQ<sup>2</sup>. 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.

---

<sup>2</sup> RISQ : Réseau Intégré du Système Qualité



## 5 - 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.

## 6 - 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.).

Activités de contrôle qualité		Procédures		Procédures (codes)	Processus impliqués (codes)	Modes opératoires (codes)	Enregistrements (codes)	Commentaires
1	Vérifier que les hypothèses et critères pour la sélection des données sur les activités et les facteurs d'émission sont documentés.	1a	Comparer les descriptions des données sur les activités et les facteurs d'émission à l'information sur les catégories de source et s'assurer qu'elles sont consignées et archivées correctement.	INV-Pd-1.01 INV-Pd-1.05	INV-Pr-01		INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02	
2	Vérifier l'absence d'erreur de transcription dans les entrées de données et les références.	2a	Confirmer que les références bibliographiques sont citées correctement dans la documentation interne.	INV-Pd-1.05	INV-Pr-01		INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02	
		2b	Vérifier par recoupement un échantillon de données d'entrée pour chaque catégorie de source (mesures ou paramètres utilisés pour le calculs) afin de rechercher des erreurs de transcription.	INV-Pd-1.05	INV-Pr-01		INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02	bouclages, examen des tendances des séries historiques par applicatif interne
3	Vérifier que les émissions sont calculées correctement.	3a	Reproduire un échantillon représentatif des calculs d'émissions.	INV-Pd-1.05	INV-Pr-01		INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02	contrôle des modules de calculs par un vérificateur interne désigné
		3b	Simuler sélectivement des calculs d'un modèle complexe à l'aide de calculs abrégés pour évaluer l'exactitude relative.	INV-Pd-1.05 INV-Pd-1.02	INV-Pr-01		INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02 INV-En-1.2.0-01	validation du choix des méthodes par comparaison à des modèles simplifiés
4	Vérifier que les paramètres et les unités d'émission sont consignés 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				

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-Pd-1.05	INV-Pr-01 INV-Pr-01	CIT-En-0.2.0-02 CIT-En-0.2.0-03 CIT-En-0.2.0-05 CIT-En-0.2.0-06 INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02	cohérence des données sources et des versions des rapports
8	Vérifier que les incertitudes des émissions et absorptions sont estimées ou calculées correctement.	8a	Vérifier que les qualifications des personnes apportant une opinion d'experts sur l'estimation de l'incertitude sont appropriées.	CIT-Pd-7.01	CIT-Pr-07	CIT-En-7.1.0-05 CIT-En-7.1.0-03	
		8b	Vérifier que les qualifications, hypothèses et opinions d'experts sont consignées. Vérifier que les incertitudes calculées sont complètes et calculées correctement.	CIT-Pd-0.02		CIT-En-0.2.0-02	
		8c	Au besoin, dupliquer les calculs d'erreurs ou un petit échantillon des distributions de probabilité utilisés par l'analyse Monte Carlo.	Approche "Monte-Carlo" à développer et appliquer sur quelques secteurs			
9	Effectuer un examen de la documentation interne.	9a	Vérifier qu'il existe une documentation interne détaillée à la base des estimations et permettant la duplication des estimations d'émissions et d'incertitudes.	INV-Pd-1.06	INV-Pr-01		+ OMINEA
		9b	Vérifier que les données d'inventaire, données justificatives et dossiers sont archivés et stockés pour faciliter un examen détaillé.	INV-Pd-1.06 + CIT-Pd-0.03	INV-Pr-01	INV-Mo-1.6.01 INV-Mo-1.6.02	
		9c	Vérifier l'intégrité de tout système d'archivage de données par des organisations externes participant à la préparation de l'inventaire.	CIT-Pd-0.03			

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

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-Pd-1.02	PAM Méthodes	INV-En-1.2.0-01	Améliorations GCIE
		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 INV-Mo-1.6.2	NAD GIC (Grandes Installations de Combustion)
		INV-Pd-1.07	Rapports		
x	Ensemble des processus	CIT-Pd-0.0.3	Sauvegarde informatique		

## QUALITY ASSURANCE AND QUALITY CONTROL PROGRAM

*In case of discrepancies between English and French versions, the French one has to be considered as the official relevant version.*

Preparing an emissions inventory is a complex task in terms of:

- the large amount of data to be handled,
- the wide range of information sources in quantitative and qualitative terms,
- methodologies to be applied to quantify each emitting activity in the most effective way,
- the need to supply the most relevant and accurate information possible, taking into account resource constraints and complying with deadlines,
- the guarantee of compliance with basic qualities inherent to the inventories (consistency, exhaustiveness, traceability, etc.).

It is essential to put in place a mechanism for quality assurance and quality control in order to fulfil this task satisfactorily.

### 1 - Quality management

The national emissions inventory system is set up, by incorporating the usual criteria applicable to Quality Management Systems (QMS). Citepa, in charge of preparing the national emissions inventories from a technical viewpoint, has put in place a system for quality assurance and quality control based on the ISO 9001 standard. This approach has been confirmed by the fact that Citepa was awarded a certificate issued by the French Quality Management Body (AFAQ) in 2004. This was renewed in 2007, 2010, 2013 and follow-up audits were conducted in between. The task of preparing the national emissions inventories is covered by the QMS via several specific processes (see Quality Manual - confidential in-house document).

In this framework, several processes for quality assurance and quality control of the inventories are incorporated into the different processes and procedures implemented, corresponding to the different phases and actions on the following points:

- general functions: reviews, resource management, planning, tracking legislative, policy, scientific and technological developments, participation in work outside Citepa linked to the emission inventories.
- choice, implementation and development of methodologies as well as the choice of information sources and data collection. The processes for choosing the methods are clearly defined, particularly with regard to the reference frameworks and characteristics of relevance and permanence expected from the data sources. These choices are generally made in consultation with the stakeholders and experts in the areas concerned. Changes in methodology are submitted for approval by the Emissions Inventory Consultation and Information Group (GCIIE).
- developing calculating methods, particularly models for calculating emissions, data bases, reporting.
- high level of traceability and transparency.
- implementing and registering controls at key and risk stages in conducting the inventories, via multiple in-house controls both on input data, calculations, data bases, reports, data storage, monitoring changes (corrections of mistakes or improvements), cases of non-compliance. Several tools designed to accompany these controls have been developed.
- validating and approving the results of the inventories, following the opinion issued by the GCIIE.
- validating and approving the reports and other means of communication by the Ministry in charge of Environment.
- systematic archiving of the elements needed to ensure the required traceability.

- disseminating the corresponding information and products.
- compatibility with EU requirements in terms of disseminating data and characteristics of emission inventories that the European Commission needs. In particular, in order that the latter can prepare the EU inventories on the basis of the Member States' inventories and thereby contribute to fulfilling the quality requirements set at EU level (i.e regarding greenhouse gases which are monitored under specific legislative arrangements).
- permanently improving the quality of estimations by developing procedures to avert possible systematic errors, reduce the corresponding uncertainties, extend coverage of substances and emission sources, etc. aimed at meeting quality targets. An action plan is drawn up and regularly updated. It incorporates the required and possible improvements, taking into account the GCIIÉ's recommendations.
- assessing the implementation of quality assurance and quality control arrangements, in particular the targets and the quality plan.

## 2 - Quality targets

The overall objective of the quality assurance and quality control program focuses on the production of national emissions and sinks inventories in line with requirements issued in the different national and international frameworks covered by the SNIEBA. These requirements concern the definition, implementation and application of procedures and methods aimed at meeting the criteria on traceability, exhaustiveness, consistency, comparability and punctuality required by international and EU institutions, as part of the commitments France has signed up to.

In particular, this overall objective breaks down into sub-elements:

- preparing the reports (particularly the national inventory reports for certain Protocols and EU Directives) in line with the content and presentation criteria that may be applied (analyses of trends, uncertainties, quality assurance and quality control, national inventory system, methods used, etc.),
- supplying the required basic sectoral data in the predefined report formats (CRF, NFR, LCPs, etc.) and: additional explanations, using defined note codes, changes introduced over the last year, retrospective adjustments, specific data, etc.
- developing appropriate procedures for choosing methods and reference nomenclatures, data collection, processing, validation, archiving and saving,
- ascertaining the quantitative uncertainties involved in the estimations,
- identifying and removing inconsistencies,
- developing quality assurance procedures,
- contributing to continuously improving the inventories by:
  - seeking and implementing more relevant and more accurate methods and/or data,
  - issuing recommendations to the various bodies involved in the national emissions inventory system, and other bodies, including at international level,
  - taking part in international work on issues linked to emissions inventories and sinks,
  - cooperating with other countries on these same aspects,
  - complying with EU and international deadlines for submitting emission inventories,
  - seeking to achieve efficiency in the work carried out (relevance, accuracy, implementing methods as opposed to means, etc.) aimed at meeting the needs for determining emissions and sinks.

### 3 - Quality control

Quality control is incorporated into the different phases of the processes and procedures developed by the bodies involved in the national system in order to achieve the objectives and targets set.

The Citepa, the body responsible for the technical coordination and compilation of the inventories is in charge of monitoring quality control and issues recommendations aimed at improving, completing and developing the necessary processes and procedures.

These procedures can be automatic or manual, take the form of a check-list, feasibility, consistency, exhaustiveness, trend analysis and simulation tests, etc. They are implemented at several stages in the process of conducting the inventory. Some of these are presented in detail below:

#### ➤ Input data

- Monitoring data collection (required steps, actual publication, reminders, etc.),
- Actual gathering (delivery, downloading from Internet, data actually presented to Citepa),
- Compliance of the contents in quantitative (complete flow) and qualitative terms (possible observations regarding the sampling, change in scope, methodology which may lead to a statistical gap, etc.).
- Registering and archiving the raw data before processing.

#### ➤ Data processing

This is mainly carried out by means of calculation sheets, each one focusing on a category of emission fiches sources (the SNIEBA comprises over 100 such sheets).

Thus each sector calculation sheet contains its own internal controls. These are in-house tests aimed at ensuring the accuracy of the calculations (for example, checking the sub-totals, displaying the trends at the most detailed activity level) and consistency with the values calculated and transferred to the system of national data bases. Similarly, sources and assumptions are particularly carefully documented in order to guarantee traceability.

#### ➤ Control and in-house approval of the results

Before being transferred to these data bases, several stages of additional checks are conducted. Each sectoral calculation sheet is checked by its author by means of a tool specifically designed for this purpose by Citepa. This tool is known by its French acronym VESUVE<sup>3</sup>. It not only enables the consistency between emission factors, activities and emissions of all pollutants to be checked, but it also makes it possible to graphically display trends in activities, emission factors and emissions of all the pollutants for the previous editions of the inventory and the edition under preparation. The trends observed between the two editions are systematically analysed and commented on by the author of the calculation sheet.

Each sectoral calculation sheet then undergoes at a minimum a check by a third person and by a second person ranking higher in the internal hierarchy in the case of methodological changes. In particular, the check carried out focuses on the consistency and transparency of the method, referencing the data used, treatment of possible cases of non-compliance or scheduled improvements (cf. application of RISQ in paragraph 4 below) and registering the checks conducted using VESUVE.

In particular, this concerns the representativeness of the information (definition, field, relevance, accuracy, etc.), the relevance of and compliance with the methods, the suitability of the processing tools and the formats used for forwarding and disseminating the results obtained.

An additional control stage occurs when the methodological report known by its acronym, OMINEA, is compiled, during which a new review of developments concerning methods and

---

<sup>3</sup> VESUVE: verification and follow-up of inventory sheets (the acronym is built on the French wording)

emission factors is carried out (justification of the developments, explanation of methods, referencing sources, etc.). Similarly, compiling the inventory report provides the opportunity to conduct an overall check of the results. These two types of report are carried out by persons not having or only partially having worked of the preceding stages of data processing.

Given the considerable amount of data collected and processed in the different areas concerned, it is important to examine the corresponding documentation from each of the bodies involved. This is particularly relevant for the procedures concerning the quality management processes put in place by the Citepa to this end (Citepa was awarded the ISO 9001 certification) for preparing the emission inventories.

For the compiling of the inventories, almost all of the general Tier 1 specifications set out in the IPCC Good Practice Guide are applied. Specifications pertaining to certain Tier 2 source categories are implemented on a case-by-case basis, mainly in the "industry", "transport" and agriculture sectors and, to a lesser extent, in the other sectors. In particular, access and use of data on individual sources or detailed source sub-sets lead to the application of specific procedures. The QMS is particularly concerned with:

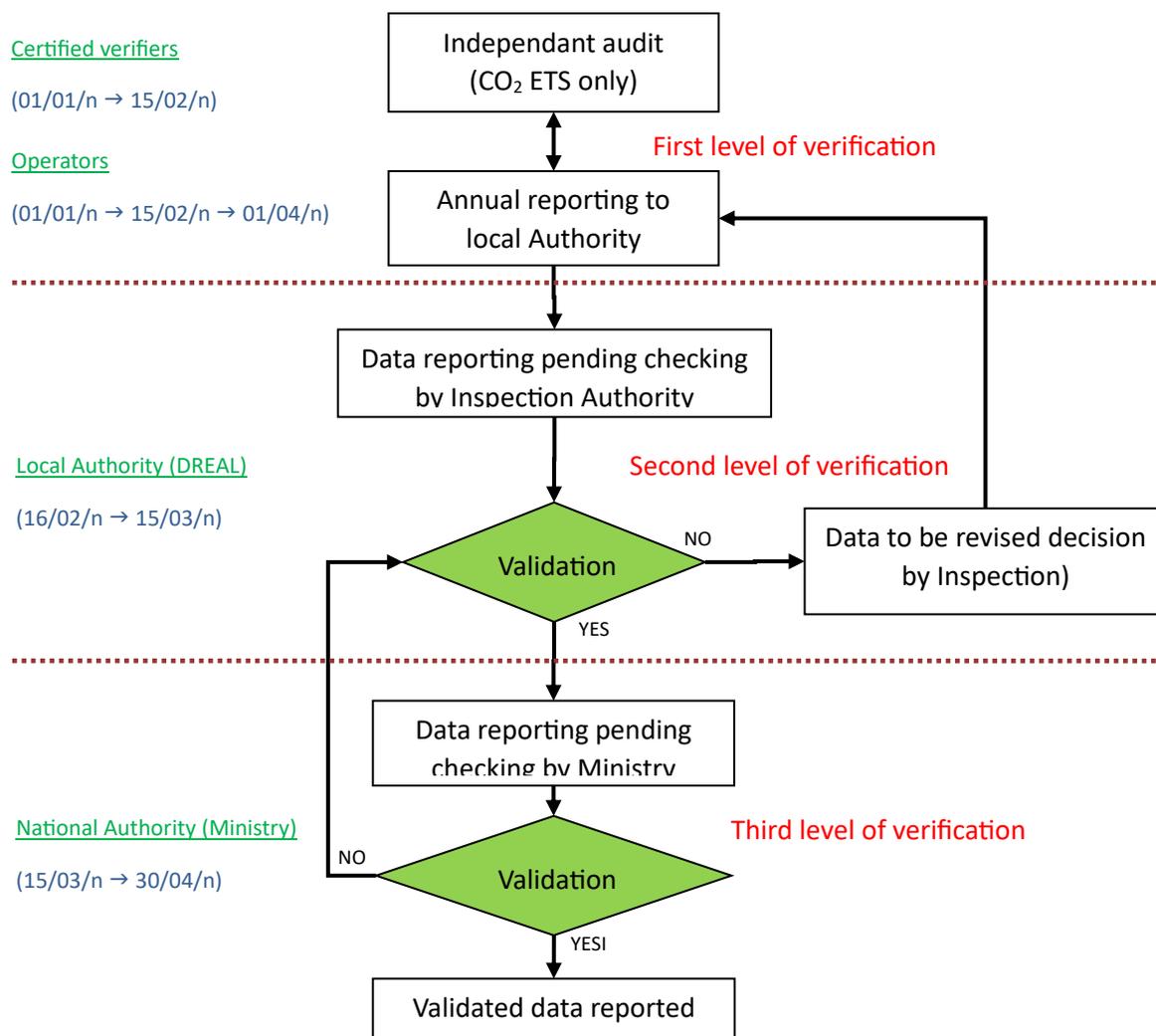
- ensuring availability of the documentation used for emissions inventories,
- filing and archiving all data and information used for each inventory,
- keeping certain data confidential if need be.

The table presented in paragraph 5 below provides the list of checks made with reference to the IPCC Good Practice Guide. Many other actions can be added to this. See also the diagram after paragraph 4.

#### 4 - Quality assurance

Quality assurance is provided through several measures designed to subject the inventories to reviews for the purpose of obtaining comments and assessments from stakeholders, generally with expert knowledge. More specifically, the following actions are in place, some of which have been incorporated into the inventory system and subsequently into the QMS (see diagram below):

- comments from members of the Emissions Inventories Consultation and Information Group (GCIIE). These experts have their own data to cross-check methodology elements.
- assessments made by regional authorities (DREAL) on activity-specific data or pollutant emissions as reported under the annual reporting mechanism. They apply to more than 10 000 installations including all ETS plants. It should be noted that compliance with the second verification level cannot be approved unless the first level of verification is satisfactory.

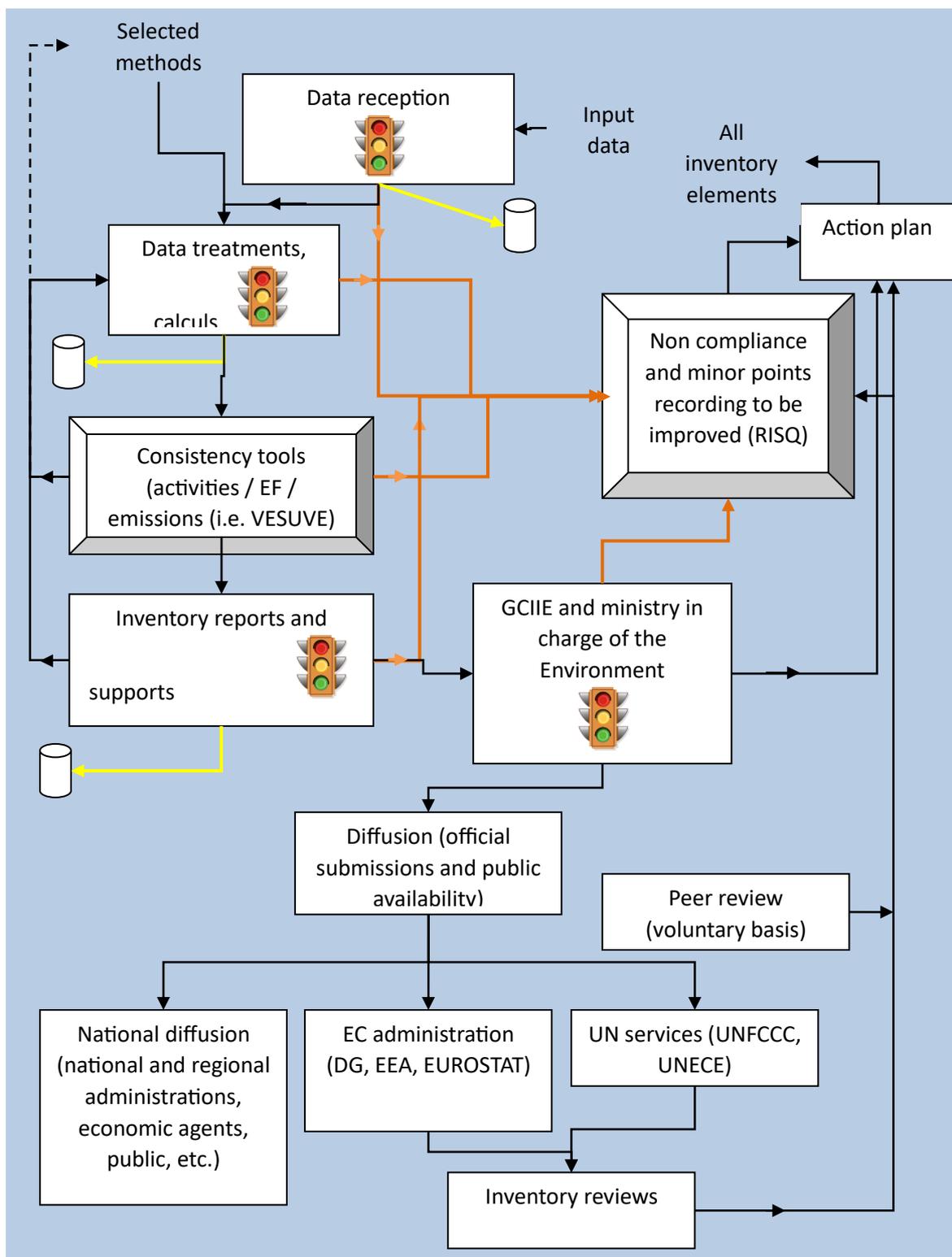


- quality assurance implemented by the statistics bodies in charge of producing certain data having been officially approved to do so by the administration (energy balances, production, etc.). This quality assurance is thus incorporated ahead of the work of preparing the inventory.
- reviews conducted by the UNFCCC Secretariat since 2002 and every year except some specific years (e.g. 2020). These reviews result in reports which make it possible to introduce improvements. Although these reviews do not relate to quality assurance actions managed by the country, the nature and the results of these reviews are totally similar to what third-party reviews in the frame of national quality assurance actions would yield. Several improvements introduced in the greenhouse gas emissions inventory are a result of these international reviews.
- The reviews conducted in the different frameworks (UNFCCC, UNECE / LRTAP, European Commission / EU Greenhouse Gas Emissions Monitoring Mechanism, etc.) are expert analyses, each of which contributes to quality assurance of the emissions inventories. At the least, these analyses focus on common elements, such as activities of certain sources (e.g. energy), but also various other aspects (organisation, uncertainties, etc.) as a result of the common reporting aspects and strong similarities between these exercises.
- Periodical examinations conducted by various experts with access to the publicly available emissions inventories or following comments made by third parties.
- Exchanges and bi- and multilateral actions carried out with foreign bodies and experts in charge of conducting national inventories. The task of conducting complete and in-depth reviews by third parties comes up against the double difficulty of whether the required skills and resources

are available. In this context, bilateral operations between experts of two countries restricted to certain sectors and/or pollutants are an interesting option and are easy to put into practice. Such an operation was conducted in July 2008 between French and British experts for the agriculture sector and in late 2013 / early 2014 between French and German experts for fluorinated gases emissions.

The information gathered feeds into a tool for registering and monitoring the correction of the cases of non-compliance identified and the improvements planned. This tool, which is known by its French acronym RISQ, is systematically consulted by the authors of calculation sheets and reports when they are updated. Implementing the action planned is consigned and checked by their verifier.

The information helps to improve the subsequent editions of the inventories, depending on the impact of the changes with regard to the resulting difference in the estimations and to the resources and time needed to obtain the data and/or implement des alternative methods.



## 5 - Examples of practical actions

A few (non-exhaustive) examples of operations carried out are given:

- Methodology and data processing:
  - All data processing developments include tests to check the accuracy of the calculations,
  - A further calculation is made which is separate from the order of magnitude of the result obtained,
  - Indicators to check overall consistency in the calculations are introduced as far as possible,
  - Records are kept of all the methods used, associated assumptions, and changes made,
  - The impact of new or amended methods is analysed.
- Activity and emissions data:
  - A close watch is kept on the method to produce the statistics Citepa uses in order to detect possible biases which could affect the information used (scope, structure, series continuity, etc.),
  - Data specific to certain sources are taken into account, particularly data resulting from the implementation of the requirements under the EU Emissions Trading Scheme (cf. section B.1.1) in order to ensure almost total consistency,
  - Trend analyses, justification of significant differences,
  - Exhaustiveness, feasibility and consistency tests, etc.
- Cases of non-compliance:
  - Cases of non-compliance detected internally or notified by outside correspondents are examined (cause and effect), the existing procedures are corrected, the remedial measures are implemented if need be.
  - Cases of non-compliance are recorded to enable remedial measures to be implemented.

## 6 - Links between the general procedures at Level 1 of IPCC and those of the QMS

The tables below presents:

- The links between the quality control activities identified in the IPCC guidelines and the various elements of the QMS (processes, procedures, etc.),
- The definitions of the components mentioned such as procedures, processes, operating modes, etc.

The tables are not translated in English, see corresponding section in the French text.

# PREPARATION DES INVENTAIRES, COLLECTE DES DONNEES, TRAITEMENTS ET ARCHIVAGE

*(English translation available after the French text)*

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).

## 1 - 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, SEQE, etc.).

## 2 - 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.

### 3 - 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.

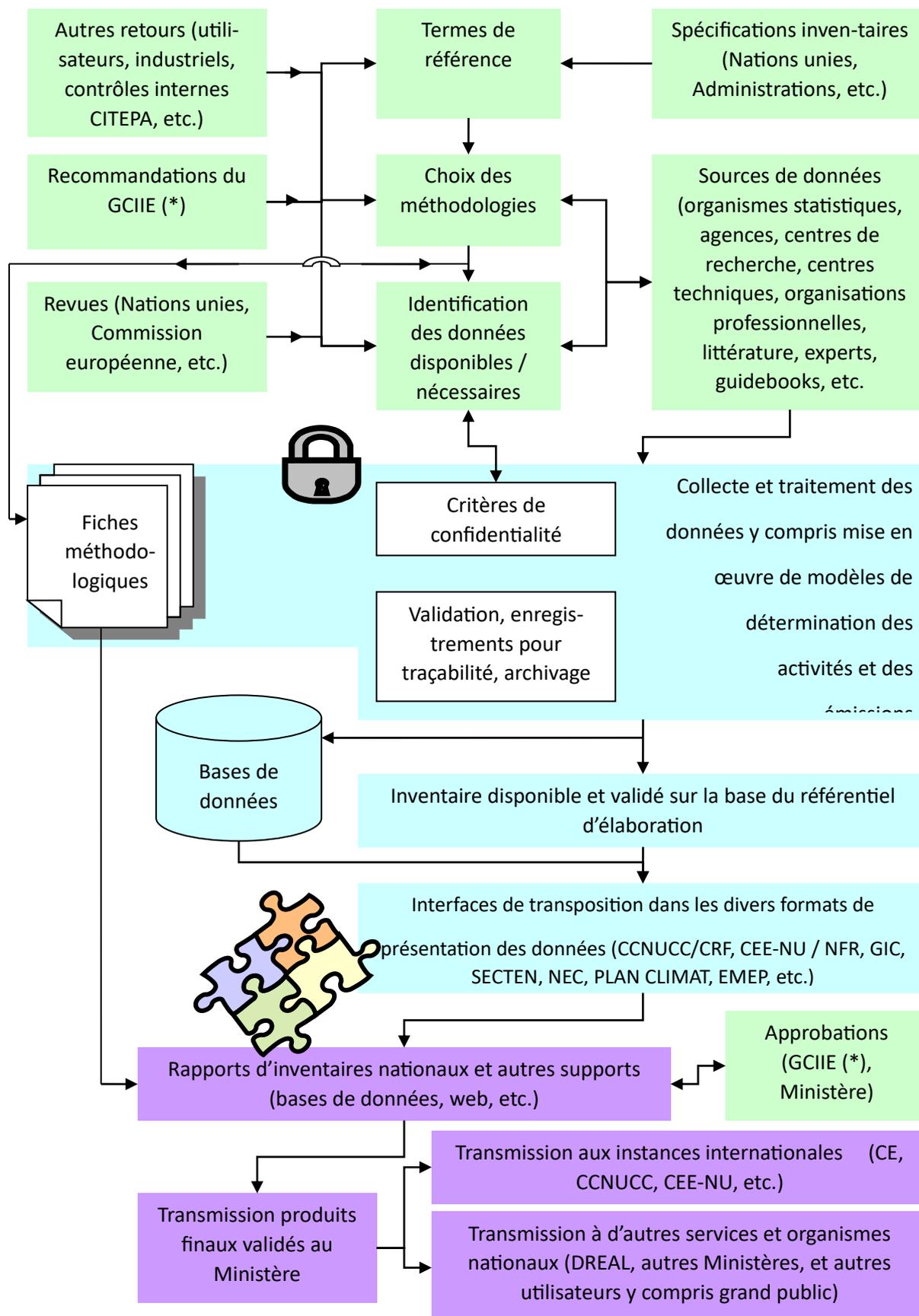
Le tableau ci-dessous dresse la liste des principaux formats produits par le SNIEBA.

Inventaire	Nom du format opérationnel
CCNUCC	Common Reporting Format (CRF) et bientôt Common Reporting Table (CRT) pour l'Accord de Paris
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)

Les différences passées ou à venir entre les formats des inventaires s'inscrivant dans le cadre des conventions des Nations unies et les directives européennes sont explicitées en annexe 5.

A noter également que la transmission des inventaires CEE-NU et CCNUCC à la Commission européenne comporte des états complémentaires spécifiques à leur intégration dans l'inventaire d'ensemble de l'Union européenne.

Schéma opérationnel simplifié du système d'inventaire



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

## 4 - Référentiels

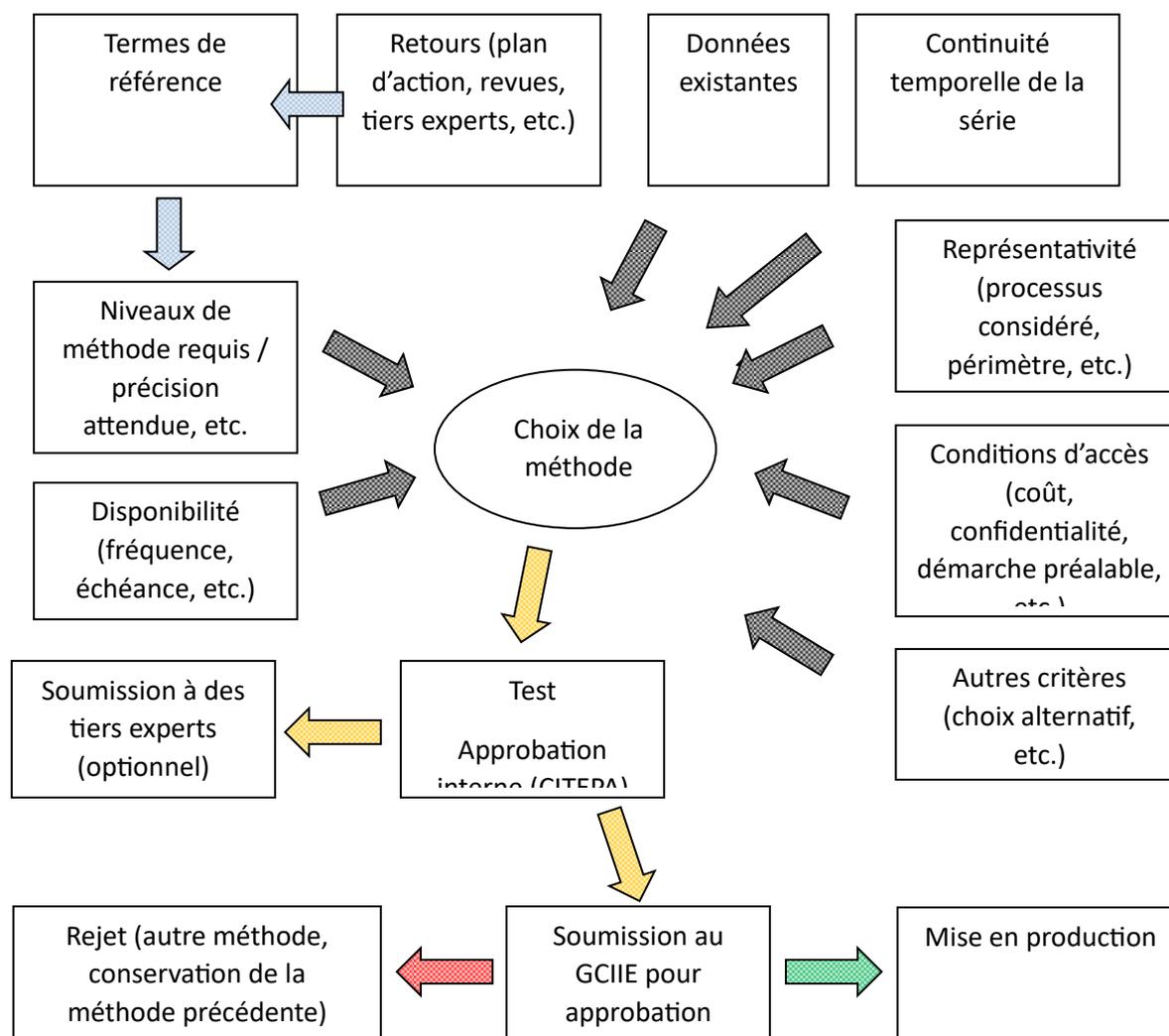
Les différents éléments constitutifs des inventaires d'émission doivent être définis avec soin et de façon transparente. Les référentiels utilisés doivent également assurer la compatibilité avec les exigences internationales et les différentes applications supportées par le SNIEBA. Les éléments faisant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

- les substances et les formes physico-chimiques à considérer (par exemple les oxydes d'azote en équivalent NO<sub>2</sub>, le dioxyde de carbone sous forme de CO<sub>2</sub> 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.

Élément	Nom du référentiel	Source	Commentaire
Activité émettrice (niveau élaboration)	Selected Nomenclature for Air Pollution (SNAP)	EMEP / CORINAIR (SNAP 97) adaptée par le Citepa (SNAP 97c)	Voir annexe 1
Combustible (niveau élaboration)	Nomenclature for Air Pollution of FUEls (NAPFUE)	EMEP / CORINAIR (NAPFUE 94) complétée par le Citepa (NAPFUE 94c)	Voir annexe 2
Catégories de sources pour CCNUCC	Common Reporting Format (CRF)	CCNUCC / GIEC	Voir annexe 3
Catégories de sources pour CEE-NU / LRTAP	Nomenclature For Reporting (NFR)	CEE-NU	Voir annexe 3
Catégories de rapport Plan Climat	Catégories Plan Climat	Ministère / DGEC	Voir annexe 4
Entités géographiques	Nomenclature des Unités Territoriales Statistiques (NUTS), Administratives	EUROSTAT et INSEE	Voir annexe 5

## 5 - 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.



## 6 - 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.

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.	et Ministère chargé de l'industrie (INSEE)
	Consommations d'énergie dans le résidentiel et le tertiaire	
	Consommation d'énergies renouvelables dans l'industrie et le résidentiel/tertiaire	
	Bilan de la pétrochimie	
	Déclaration 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	Ministère chargé des transports (CGDD, DGITM, DGAC)
	Statistiques du transport maritime	
	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)
	Inventaire des fluides frigorigènes	ADEME / Mines ParisTech
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	Ministère chargé de l'agriculture et de la pêche (SSP), INRA
	Caractérisation des modes d'élevage (mode de gestion des déjections, bâtiments), caractérisation des pratiques culturales	
	Facteurs d'émission	
UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)	Statistiques forestières	Ministère chargé de l'agriculture (SSP)
	Utilisation du territoire	
	Récolte de bois et production de sciages	
	Accroissement et stocks forestiers en métropole	IFN/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, organisme chargé de réaliser les inventaires d'émission.*
  - *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 ITOMA relative aux installations de traitement des déchets, les travaux*

*réalisés par Mines-ParisTech concernant les gaz fluorés, 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 ses 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 publiées,*
  - *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.*

#### *7 - 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.*

# INVENTORY PREPARATION, DATA COLLECTION, PROCESSING AND STORAGE

*(In case of discrepancies between English and French versions, the French one has to be considered as the official relevant version)*

This section describes the main technical components and features of the National System of Air Pollutant and Greenhouse Gas Emissions Inventories and Audits (SNIEBA).

## 1 - Principles and general scope

The SNIEBA has been designed following the principle of a single core meeting the different requests. However, the SNIEBA does not claim to be able to meet in advance all requests that may be made in the very wide field of emissions inventories. It aims to be suitable to meet those requests which have been approved by the authorities and which, given their characteristics and relevance, warrant being covered by the national system.

The SNIEBA has been designed to meet recurring requests whose contents are clearly specified in order to justify the development of processes and tools implemented. Periodic needs can be met by the system using associated procedures developed for this purpose. A pressing technical condition is whether the request is compatible with the current features of the SNIEBA, in terms of concept, coverage and level of detail, source categories, spatial and time characteristics, etc.

The SNIEBA is updated on a regular basis as far as possible to ensure compliance with the international specifications defined by the European Commission and the United Nations.

A key advantage of the SNIEBA at a national level is that it produces a large amount of data and analyses but also that it constitutes a framework for studies at regional or local level, particularly on methodological aspects and reference nomenclatures, etc. Several data produced during the process and available in the SNIEBA are also geo-referenced and may be used for regional or local applications. It may also be used for associated applications such as determining emissions in reporting frameworks (E-PRTR, EU-ETS, etc.).

## 2 - Features required for the emissions inventories

In general, the following features must be inherent to emissions inventories in order to be usable in practice. These features are formal requirements in the case of the inventories compiled under international Conventions (UNFCCC, UNECE / CLRTAP) and EU Directives. The SNIEBA has been designed and developed in order to be compatible with the following features:

- exhaustiveness: emissions from all the sources falling within the scope covered must be taken into account.
- consistency: the time series must be homogeneous from year to year.
- accuracy/uncertainties: the estimates must be as accurate as possible based on the latest knowledge. Since these estimates may often be imprecise, given the complex nature of the phenomena involved and the difficulties to measure or model emission levels, they must be accompanied by the uncertainties involved.
- transparency: the methods and data used must be clearly explained in order to be assessed as part of the validation and verification procedures. Consequently, traceability of the data is essential. The data must be registered and be accessible. This feature is also very useful for updating or comparing inventories. However, it may be limited in some cases on the grounds of confidentiality.

- comparability: it must be possible to compare the inventories. This comparison can involve both the geographical and time aspects, and the sources taken into account (same sources, same methodologies applied to the same spatial and temporal characteristics). This quality generally requires compliance with the other aforementioned qualities and the use of identical or at least compatible reference nomenclatures.
- confidentiality: complying with certain legal or contractual rules restricts access to some information. The data presented in the inventories must comply with the confidentiality rules which may be defined.
- punctuality: it must be possible, through the inventory system, to produce the inventories within the required timeframe.

### 3 - Operational arrangements on estimating and reporting emissions

Emission inventories are made up of two phases (see diagram on following page):

- the phase of estimating emissions from the different emitting sources taken into account in accordance with the specifications of each inventory. As part of this phase, the inventory system must take into account the components in sufficient detail with regard to the type of source so that the emissions estimates are as accurate as possible and that they comply with the criteria defining the emissions categories covered in the reporting phase. By applying this clause to all the demands the system must meet, the result is a breakdown of source types depending on:
  - sector, branch or economic activity,
  - process type,
  - type of equipment used,
  - whether and what type of emission prevention or control equipment is in place,
  - production or operating capacity of the plant,
  - how old the plant and its equipment are,
  - various parameters linked to operating conditions, etc.

This phase further breaks down into two stages:

- a preliminary stage in which the following are established: terms of reference, choice of methodologies, identification of the data (source, availability, confidentiality, etc.), calculating procedures, etc. These elements are influenced by the feedback gained from previous years, national and international reviews, etc.
- a stage in which the previously defined arrangements on data collection and processing including approval, archiving, calculations, implementing models, consolidation, etc. are applied.
- the phase of reporting emissions from the different sources covered in accordance with the categories defined in the specific reporting formats. The latter are part of the specifications required by international institutions such as the United Nations and the European Commission.

The table below gives a list of the main formats produced by the SNIEBA.

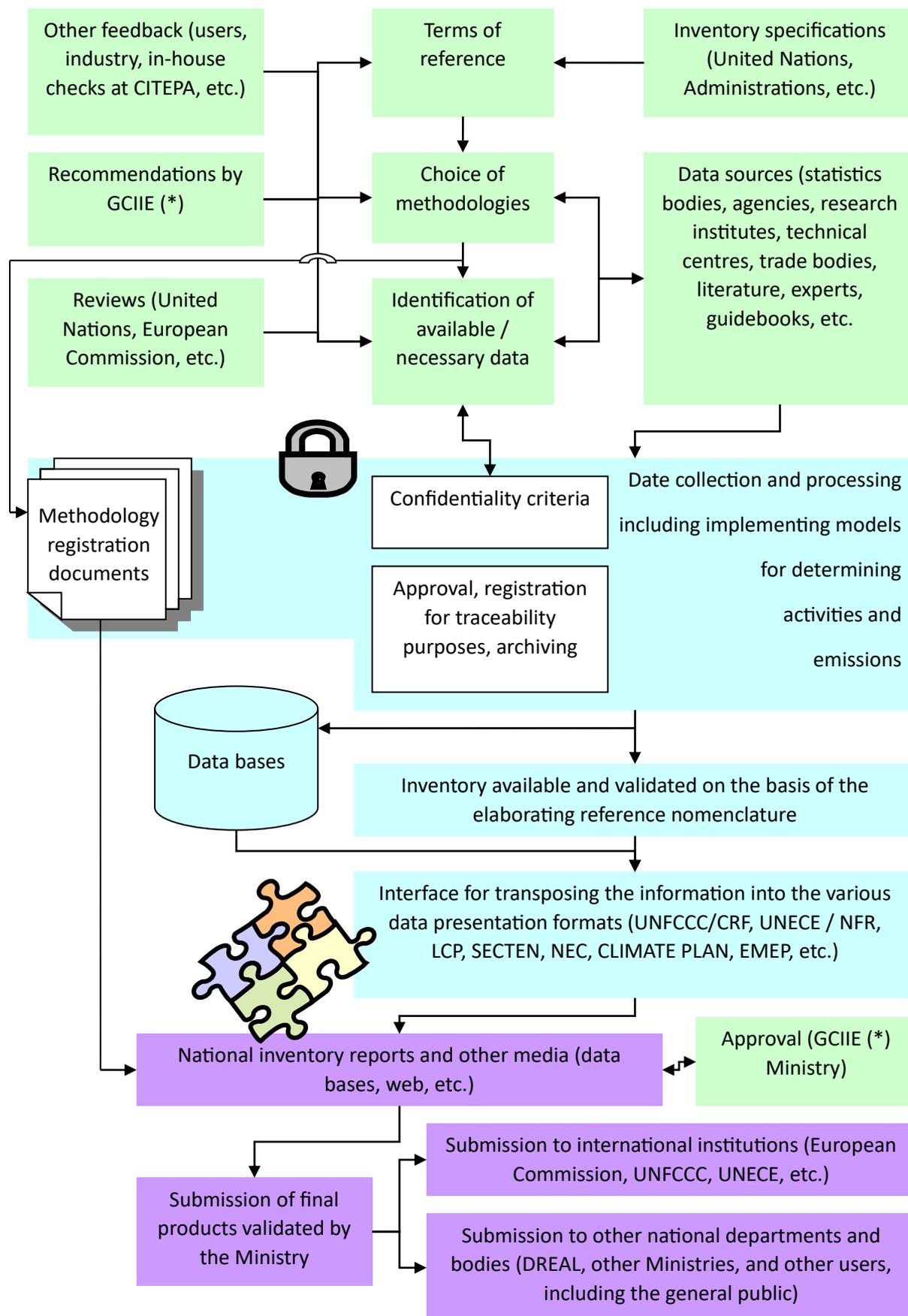
Inventory	Name of operational format
UNFCCC	Common Reporting Format (CRF) and Common Reporting Table (CRT) soon for the Paris Agreement
UNECE and NEC	Nomenclature For Reporting (NFR)
UNECE (EMEP)	EMEP (NFR with a restricted resolution but a 50 x 50 km grid)
LCP	LCP (partly on an individual basis and partly on an aggregate basis)
SECTEN	SECTEN levels 1 and 2

---

NAMEA	NAMEA
CLIMATE PLAN	CLIMATE PLAN (derived from the national SECTEN format aimed at reconstituting the conventional economic sectors)

---

Simplified organisation chart of the French inventory system



(\*) Emission Inventories Consultation and Information Group

The past and future differences between the inventory formats within the framework of the UN Conventions and the EU Directives are explained in Annex 5.

It should be noted that UNECE and UNFCCC / UNFCCC-KP reportings to the European Commission also provide additional data sheets regarding the compilation of the inventories for the whole European Union.

#### 4 - Reference nomenclatures

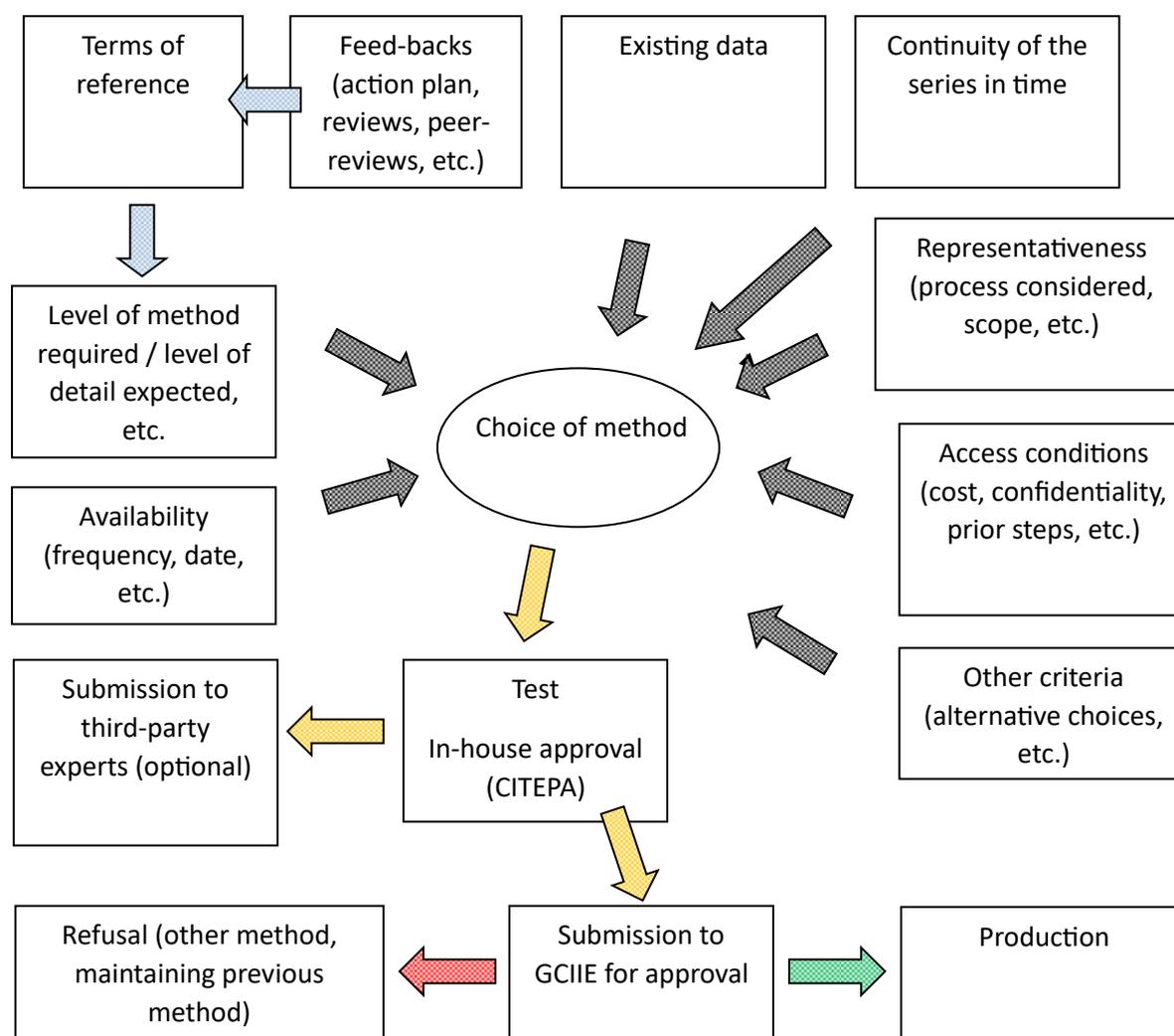
The different components of the emissions inventories must be defined carefully and in a transparent way. The reference nomenclatures used must also ensure compatibility with international requirements and the different applications that the SNIEBA takes into account. The elements that the reference nomenclatures are applied to are as follows:

- substances and the physical and chemical forms to be considered (for example, les nitrogen oxides in NO<sub>2</sub> equivalent, carbon dioxide in CO<sub>2</sub> form and not C, etc.),
- types of emission sources for calculating emissions,
- fuels,
- source categories for reporting emissions,
- the relation between emission sources and source categories for reporting emissions,
- type of sources (large point sources, large linear sources, large combustion plants, mobile sources, stationary sources, etc.),
- geographical coverage and territorial division (whether territories located overseas are included or not, administrative divisions or grids, etc.),
- methods for estimating emissions,
- the various parameters used in the system.

Element	Reference name	Source	Comments
Emitting activity	Selected Nomenclature for Air Pollution (SNAP)	EMEP / CORINAIR (SNAP 97) adapted by Citepa (SNAP 97c)	See Annex 1
Fuel	Nomenclature for Air Pollution of Fuels (NAPFUE)	EMEP / CORINAIR (NAPFUE 94) adapted by Citepa (NAPFUE 94c)	See Annex 2
UNFCCC source categories	Common Reporting Format (CRF)	UNFCCC / IPCC	See Annex 3
UNECE/LRTAP source categories	Nomenclature For Reporting (NFR)	UNECE	See Annex 3
Climate Plan categories	Climate Plan categories	Ministry / DGEC	See Annex 4
Geographical units	Nomenclature of Territorial Units for Statistics (NUTS), Administrative units	EUROSTAT and INSEE	See Annex 5

### 5 - Choice of methodologies

At the level of defining components of the inventory, the choice of the methods used for calculating emissions takes into account several aspects. It involves a test and approval stage by the GCIE, as illustrated in the figure below.



### 6 - Nature of the collected data

The data are of a very varied nature and there are large quantities of them. The information used is described in detail in each section of this report in relation to the different types of sources and pollutants.

The list below on the nature of the data is not exhaustive but encompasses the main cases encountered:

- public or non-public statistics produced by specialised bodies of the Administration or acting on their behalf. Most of the data flows used in the inventory concerning the "activity" parameter (energy consumption, industrial production, agricultural survey, forest inventory, socio-economic data, etc.) come within this category. The following table taken from the Ministerial Order of 29 December 2006 includes several elements belonging to this category. First comes the national energy balance which is now the responsibility of the French Environment Ministry, followed by the statistics produced by the National Institute for Statistics and Economic Studies (INSEE), air traffic data compiled and issued by the General Directorate for Civil Aviation (DGAC), etc.

Sector	Type of data	Current producer of data
Energy	Energy balance	
	Energy consumptions in France	
	Consumption and repartition of petroleum products for non energy use	Ministry in charge of the environment (CGDD) and Ministry in charge of industry (INSEE)
	Energy consumption in manufacturing industries	
	Energy consumption in residential and tertiary sectors	
	Renewable energy consumption in industry and residential and tertiary sectors	
	Petrochemicals balance	
	Annual reporting on emissions from authorized installations	Ministry in charge of the environment (DGPR)
	Energy consumptions in food industry	Ministry in charge de of agriculture and fishing (SSP)
	National transports accountings	Ministry in charge of transports (CGDD, DGITM, DGAC)
	Statistics on maritime transport	
	Statistics on air transport	
Industrial processes	Annual reporting on emissions from authorized installations	Ministry in charge of the environment (DGPR)
	Food industry production des IAA. - Sectoral supplies	Ministry in charge de of agriculture and fishing (SSP)
	Manufacturing industry statistics	Ministry in charge of industry (INSEE)
	Inventory of cooling fluids	ADEME / Mines ParisTech
Use of solvents and other products	Annual reporting on emissions from authorized installations	Ministry in charge of the environment (DGPR)
	Production, importation and exportation, consumption of paints/inks/glues	Ministry in charge of industry (INSEE)
Agriculture	Statistics relating to agriculture	Ministry in charge de of agriculture and fishing (SSP)

	Livestock system (animal waste management system), culture practices	
	Emission factors	
	Statistics relating to forestry	Ministry in charge de of agriculture and fishing (SSP)
LULUCF (land use, land use change and forestry)	Land use	
	Wood harvesting and sawmill production	
	Forest growing in metropolitan area	IFN/IGN
	Temperature / global solar radiation	Network RenEcofor/ONF
Waste	Inventory of domestic and assimilated waste treatment plants	ADEME and Ministry in charge of the environment (DGPR)
	Hospital waste statistics	
	Industrial waste statistics	
	Annual reporting on emissions from authorized installations	Ministry in charge of the environment (DGPR)
	Dioxins/heavy metals survey of waste incineration plants	

- *professional statistics from bodies representing an activity sector (trade bodies, federations, etc.). In many cases, these bodies produce official statistics on behalf of public statistics agencies. They thus have data which is accessible but generally disseminated in more restricted circles. This is the case for several industrial sectors (chemical industry, iron and steel industry, district heating, etc.), for example the publications of the French oil industry trade body (CPDP) and in particular the annual edition of "Pétrole" which produces a large quantity of data used in the inventories.*
- *administrative data from:*
  - *firstly, from the implementation of regulations. The most notable flow in this category is the annual emissions declaration submitted by French Classified Installations subject to Prefectoral autorisation. Under this scheme, more than 10 000 operators in the industrial and agricultural sectors are required to fill in the declaration forms on line each year, disclosing information on their emissions to air, to water, waste generated and transferred. This reporting scheme is designed to meet several needs, including input for the air emissions inventories, reporting under the European Pollutant Release and Transfer (E-PRTR) and the EU Emissions Trading Scheme. This makes it possible to obtain homogenous, specific data from the different processes and their operating conditions within the same activity. A large quantity of information is collected on the definition of installations and sub-installations, their activities, characteristics of products and fuels, methods for estimating emissions, etc. These data are public (except the actual emissions), but the Environment Ministry makes them available to Citepa, the body in charge of conducting emission inventories.*
  - *secondly, surveys carried out by or on behalf of the Administration or public agencies (i.e. the French Agency for Ecology Transition or ADEME) and various Commissions. This category includes, for example, the ITOMA survey on waste treatment facilities, work conducted by the prestigious French higher education Institute for Engineering Studies Mines-ParisTech on fluorinated gases on behalf of ADEME, the report compiled by the National Transport Accounting Commission (CCTN), etc.*
- *advice provided by experts from the public and private sectors. This advice concerns both specific detailed points and more general aspects. Some of this advice may be provided on a*

*confidential basis. When such advice is used, this fact is mentioned, (cf. sections specific to the different source categories). Peer discussions also fall within this category (bilateral consultations).*

- *Literature encompassing:*
  - *Published studies and articles,*
  - *Studies not in the public domain,*
  - *Guidebooks of which those from:*
    - *International institutions such as the IPCC, EMEP/EEA,*
    - *countries (EPA, OFEFP/OFEV, etc.)*
    - *sectoral guides.*
  - *Inventory reports from other countries.*

#### *7 - Operational procedures*

*At the operational level, once the terms of reference are established and the methodologies defined, the inventory production phase relies on procedures focusing on:*

- *Receiving the data (the “raw materials” for the inventories),*
- *Processing the information,*
- *Storing the raw data and the processed data at different stages,*
- *Calculating emissions,*
- *Producing the different means of communicating the information (reports, tables, other digital means),*
- *Approval at the different stages of the process and, ultimately, approval of the results of the inventories by the French Environment Ministry after the GCIIE has been consulted and has given its opinion,*
- *Disseminating the aspects agreed upon.*

*These different stages are part of the procedures that are described, assessed and improved continually with the implementation of the Quality Management System which is described in the section on QA/QC.*

## ÉVALUATION DES INCERTITUDES

*(English translation available after the French text)*

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 polluants 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 polluants. 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 Etats 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.
- La méthode de rang 2, qui vise à utiliser systématiquement des fonctions de densité de probabilité par la méthode de simulation stochastique comme la méthode de Monte Carlo. La mise en œuvre d'une telle méthode demande un investissement important et s'appuie également en pratique sur des avis d'experts.

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

En effet, certains secteurs font l'objet d'une mise en œuvre de l'approche Monte-Carlo pour l'inventaire de gaz à effet de serre, en particulier l'agriculture, pour le N<sub>2</sub>O des sols agricoles et le CH<sub>4</sub> des rizières, l'UTCATF pour le CO<sub>2</sub> et pour les GES du transport routier. Les résultats de ces évaluations Monte-Carlo sont ensuite injectés dans la détermination des incertitudes tous secteurs, réalisée selon la méthode de rang 1 du GIEC. Le rapport national d'inventaire fait état des résultats tant en ce qui concerne les incertitudes en niveau qu'en tendance.

Certaines activités sont concernées vis-à-vis de plusieurs gaz à effet de serre. Par ailleurs, compte tenu des consolidations effectuées par bouclage sur des bilans énergétiques par exemple, l'incertitude relative à une source ou une catégorie de source peut être intrinsèquement plus grande

que l'incertitude globale. La méthode de calcul des incertitudes globales utilisée pour les émissions de gaz à effet de serre est celle préconisée par le GIEC.

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

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

L'incertitude est 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 ; c'est le cas du SO<sub>2</sub>, du CO<sub>2</sub> et de certains métaux lourds notamment lors de l'utilisation de combustibles. Pour le CO<sub>2</sub>, l'incertitude est notablement plus élevée en ce qui concerne par exemple les puits de carbone. A noter que les données résultant des dispositions relatives à la mise en place du système d'échanges des quotas de gaz à effet de serre contribuent à une réduction des incertitudes par suite des niveaux d'exigence élevés instaurés dans ce cadre.

Pour les polluants dont les émissions sont largement dépendantes des conditions opératoires (e.g. NO<sub>x</sub>, 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 transfrontière (NO<sub>x</sub>, COVNM, NH<sub>3</sub>, etc.), la quantification de l'incertitude est plus difficile que dans le cas des émissions de CO<sub>2</sub>, 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 imprécisions / approximations entre les années, etc.

## ASSESSING UNCERTAINTIES

*(In case of discrepancies between English and French versions, the French one has to be considered as the official relevant version)*

It is necessary to assess uncertainties linked to estimating emissions in order to enable relevant use of the corresponding information in the different frameworks within which the emission inventories are prepared.

In any case, it must be borne in mind that knowledge of pollutant flows in the atmosphere remains linked to knowledge and imperfect attempts to represent the physical, chemical, biological phenomena involved in forming pollutants. This uncertainty varies widely according to the source and the substance under consideration.

The task of assessing uncertainties is particularly complex since, in a great many cases, the basic uncertainty data, if they exist, are made up of subjective information such as an expert opinion, data that are not structured for the foreseen applications, thus introducing a bias, etc.

It also has to be said that the statistical data such as those provided in energy balances or those produced by official statistics bodies do not generally include any information on uncertainties linked to these data.

The requirements for assessing uncertainties surrounding emission estimates are more and more stringent as emission reduction or limitation commitments are made by States under international Conventions. The issue of air pollution and the use of data in models aimed at determining the impact of emissions on the environment also requires accurate data to be available.

In its good practice guide, the IPCC developed two levels of method to assess the uncertainties on total emissions within emission inventories:

- The Tier 1 method which involves determining intervals of confidence for each of the parameters (activity and emission factor) using available data. As knowledge currently stands, these intervals of confidence are, in the main, expert opinions. One of the important points of this method is the identification of any possible bias (known or unknown) in the expert opinions. For this purpose, the IPCC guide explains different types of bias known.
- The Tier 2 method which aims to systematically use functions of probability density by the stochastic simulation method such as the Monte Carlo method. Much effort is needed in applying such a method which involves as well expert opinions.

The uncertainty assessment for the national inventory system is undertaken by combining the Tier 1 method and the Tier 2 Monte Carlo approach.

Indeed, for some sectors, the Monte-Carlo approach is used especially concerning N<sub>2</sub>O from agricultural soils, CO<sub>2</sub> from LULUCF and GHG from road transport. The emission uncertainties resulting from this Monte Carlo sectoral assessments are then integrated into the calculation of the total uncertainty for whole sectors applied to the greenhouse gas inventory according to the IPCC Tier 1 method. The corresponding national inventory report presents the results, both in terms of uncertainties of emission levels and emission trends.

It should be noted that the uncertainty on total greenhouse gas emissions is not equal to the sum of uncertainties in each entry. Certain activities are concerned by several greenhouse gases. In addition, given the consolidations made by conducting energy balances, for example, the uncertainty concerning a particular source or a source category may be intrinsically greater than the overall uncertainty. The method of estimating the overall uncertainties used for greenhouse gas emissions is the one recommended by the IPCC.

Work conducted for greenhouse gases may in part be used for other substances covered by the inventories with regard to the parameter "activity" often common to various substances emitted by the same type of source.

All developments made under the national inventory system endeavour to systematically integrate the quantification of uncertainties.

The uncertainty is relatively low, i.e. about 5% or lower, for gases/sources for which it is possible to cross-check the calculations using mass balances. This is the case for SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> and certain heavy metals, particularly when using fuels. For CO<sub>2</sub>, the uncertainty is significantly higher regarding, for example, carbon sinks. It should be noted that data resulting from the requirements to establish the EU Greenhouse Gas Emissions Trading Scheme contribute to reducing the uncertainties since levels of requirement are high in this context.

For those pollutants whose emissions largely depend on operating conditions (e.g. NO<sub>x</sub>, CO, NMVOCs, etc.), uncertainties are generally high. These levels of uncertainty are highly variable depending on the source for one and the same substance. It is obvious that it will be possible to gain a more accurate assessment for a source whose emissions are measured on a permanent basis or at regular intervals. The same is true when matter balances can be used.

For most of substances linked to transboundary pollution (NO<sub>x</sub>, NMVOCs, NH<sub>3</sub>, etc.), it is more difficult to quantify uncertainties than in the case of CO<sub>2</sub> emissions as explained above. However, a systematic estimation of emission uncertainties of such substances is also carried out according to the IPCC Tier 1 method (cf. UNECE inventory report).

Concerning greenhouse gases (GHGs), an assessment is provided in the UNFCCC emission inventories.

If the total uncertainty in terms of emission levels is relatively high, uncertainty regarding emission trends over time is lower. This is because of the links between the inventories of different years: the same methodology is applied for the different years, the same inaccuracies or approximations between the years, etc.

## JUSTIFICATION RATIONNELLE DES METHODES D'ESTIMATION

*(English translation available after the French text)*

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 lignes directrices de rapportage de la CCNUCC & CLRTAP et les lignes directrices méthodologiques du GIEC & de l'EMEP/EEA (définissant en particulier des niveaux de méthodes plus exigeants pour les catégories de sources clés). Les exigences de qualité associées conduisent à modifier/améliorer au fil du temps certains éléments des inventaires afin de les fiabiliser davantage et réduire leurs incertitudes.

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 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).

L'approche « bottom-up » par site industriel est mise en œuvre pour les secteurs de l'industrie tels que production d'électricité, raffinage, cokeries, mines de charbon, cimenterie, verrerie, sidérurgie, etc., et systématique pour les sites sous SEQE. Cette approche est rendue possible du fait d'un nombre relativement limité d'émetteurs et de l'existence d'un suivi régulier et assez précis des données nécessaires à l'estimation des émissions<sup>4</sup> (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 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 guide (GIEC, EMEP/EEA, etc.), de la littérature ou encore d'autres sources (dire d'expert par exemple).

Ce cas s'applique par exemple à la combustion dans l'industrie manufacturière, le chauffage urbain, etc., où environ un millier d'installations couvertes par le SEQE (installations >20 MW) parmi les plus consommatrices d'énergie sont recensées individuellement<sup>5</sup>.

Pour les catégories de sources très dispersées comme les transports, le résidentiel, l'agriculture, etc., des approches « top-down » sont déployées. 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 au 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 oeuvre.

---

<sup>4</sup> 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.

<sup>5</sup> Pour plus de précision sur la cohérence des émissions entre le SNIEBA et le SEQE, se reporter à la section « 1\_energy introduction\_COM ».

## RATIONALE FOR ESTIMATION METHODS

*(In case of discrepancies between English and French versions, the French one has to be considered as the official relevant version)*

The general rationale followed for selecting and applying estimation methods, the choice of data and reaching an optimal qualitative level is based on the definition and implementation of methods enabling the highest possible level of accuracy and detail to be reached within the framework of the SNIEBA.

In practice, the aim is to reach optimisation in order to take into account:

requirements contained especially in the UNFCCC & CLRTAP reporting guidelines and in the IPCC & EMEP/EEA methodology guidelines (in particular defining more demanding levels of methods for the key source categories). The related quality requirements lead to modifying / improving some components of the inventories over time in order to make them more reliable and to reduce their uncertainties. .

data availability: this is a prerequisite for concrete application of a method. The Ministry in charge of the Ecology and/or the bodies involved are informed of the need for more accurate and more specific data with a view to making the technical, statistical or regulatory arrangements necessary (e.g. the annual emissions reporting mechanism, in-house data in the department producing energy balances, etc.).

However, when the data collection systems are changed, the reaction is generally very slow. This is a result of the framework within which the national and international statistics system is defined.

the cost of acquiring the data which can prove to be exorbitant in relation to the expected accuracy. A typical example is the cost of data on maritime traffic produced by Lloyds.

This aspect leads us to seek alternative data, which are sometimes less accurate and/or more dispersed, but likely to meet the inventory needs and international commitments.

the fact that the data are permanently available which enables consistent time-series to be produced and to ensure the quality required by the terms of reference. If need be, if gaps in statistics cannot be avoided, action is undertaken (deleting or changing the scope of surveys) to avoid, and, in the event of such gaps occurring, the possibility of linking time series is closely examined.

confidentiality of information and particularly compliance with legal requirements. On this point, the international/national hierarchy of requirements needs to be clarified. While the SNIEBA is based on a large amount of information defined as confidential (in the legal, contractual or professional sense), at the reporting level, there remain only a few cases of confidential data to be dealt with.

In practice, as a result of the relatively extensive nature of the French statistics system, the highly centralised administration, together with the status and reputation of Citepa among the various industrial branches and administrations, a wide range of detailed data is available in comparison with several other countries. This situation, coupled with the willingness on the part of the administration and many other stakeholders, means that the use of specific national methods is as far as possible favoured.

National specificity most often refers to the detail of the information and how representative it is of the case of France rather than the methodological approach as such (as a rule, the methodological approaches followed are very close to those presented by the IPCC in the definition of methodological levels).

Full "bottom-up" approaches by facilities, implemented to industrial sectors such as electricity production, refining, coking plant, coal mining, cement production, glass industry, iron and steel

production, etc.), and systematically regarding EU-ETS plants. This approach is made possible as a result of the relatively limited number of emitters and the existence of regular and accurate monitoring of the data required to estimate emissions<sup>6</sup> (production, fuel characteristics and consumption, information on equipment and processes to control or reduce emissions, measuring or determining emissions, etc.).

Mixed "bottom-up" and "top-down" approaches are followed in sectors in which the plant characteristics cover wide fields. In this case, the largest plants are studied on an individual basis and the difference between the sum of the elements known on an individual basis and the statistical total is calculated according to a less specific approach. The latter may, depending on the case in point, be based on individual elements that are known in the sector under study, elements averaged out at national level or a default value based on an analysis of specific exogenous data, recommended by a Guidebook (IPCC, CORINAIR, etc.), literature or other sources (for example, expert opinions).

This case applies for example to combustion in the manufacturing industry, district heating, etc., where around 1000 installations covered by the EU ETS (installations >20 MW), which are among the most energy-consuming installations, are individually listed<sup>7</sup>.

For highly dispersed source categories, such as transport, the residential sector, agriculture, etc., "top-down" approaches are used. However, in several cases, the values for numerous parameters come from specific surveys or studies, as for road transport (vehicle fleet, traffic), air transport (movements), the residential sector (use of solvents, means of heating), forestry (forest inventory), household waste treatment (individual survey of treatment facilities). Given the way in which some of these data are compiled, it is in fact partly hidden "bottom-up" approaches.

Thus, whatever the approach followed, a large amount of data specific to France and the sub-sets studied is sought, it is frequently available and used. The emissions estimations are thus far more representative and, as a consequence, intrinsically more accurate.

Efforts to continuously improve the estimation, geared towards greater specificity, are made depending on the opportunities and first and foremost for key source categories for which progress is possible and desirable (variable depending on the substance).

Additional information is presented in the different sectoral sections, providing, if necessary, clarification and justification of the methods used.

---

<sup>6</sup> The annual emissions reporting system, applicable to classified installations requiring a permit, enables emissions from almost 10 000 facilities, 80% of which are industrial, to be monitored.

<sup>7</sup> For more details on the consistency of emissions between the SNIEBA and the EU-ETS, see section "rationale\_COM".

## Energie (section commune)

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
17/01/2024	BC	13/02/2024	JV

## CARACTERISTIQUES DES COMBUSTIBLES

Cette section permet de donner certaines informations sur les caractéristiques des combustibles.

### Références utilisées :

- [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
- [6] Citepa - Nouveaux combustibles - Monographie n°49 - 1986
- [8] ATILH - Note du comité de suivi de l'industrie cimentière - Novembre 2002
- [9] IPCC - Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse gas Inventories: Workbook - section I.6
- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [137] CEE-NU, AIE, EUROSTAT, OCDE - Energy statistics working group meeting, special issues Paper 8, Net calorific values - novembre 2004
- [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

### Caractéristiques de la catégorie :

#### 1 - 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). A défaut, des valeurs moyennes types peuvent pallier les éventuels défauts d'informations.

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

## 2 - 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<sup>(a)</sup> 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 :

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.

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

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

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	Briquette de lignite	17	[1]
107	Coke de houille	28	[1]
108	Coke de lignite	17	[1]
110	Coke de pétrole	32	[3]
111	Bois et assimilé	18,0	[634]
116	Déchets de bois	18,0	Analogie avec 111
117	Déchets agricoles - Farines animales	18,2	[8]
118	Boues d'épuration	5	[19]
203	Fioul lourd (tous types)	40	[1]
204	Fioul domestique	42,6	[1]
205	Gazole et Gazole Non Routier	42,6	[1]
206	Kérosène ou Pétrole lampant	43	[1]
208	Essence automobile (avec et sans plomb)	44	[1]
209	Essence aviation	44	[1]
210	Naphta	45	[9]
212	Huile de moteur à essence	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]

## Caractéristiques de la catégorie :

### Teneur en soufre

Vis-à-vis de la teneur en soufre, deux cas sont observés :

- cas des combustibles dont la teneur en soufre est relativement faible et à peu près constante :
  - soit de par la composition naturelle du combustible (exemple : le bois),
  - soit du fait de la spécification réglementaire relative au produit (exemple : fioul domestique (FOD), gaz de pétrole liquéfié (GPL), etc.).

Dans ce cas, la teneur en soufre est supposée être celle observée naturellement ou égale à la limite supérieure de la spécification (on suppose que lors de la transformation, il n'est pas recherché une diminution additionnelle de la teneur en soufre au-delà de ce qu'exige la réglementation). Il peut cependant arriver que la teneur en soufre d'un combustible soit légèrement inférieure à la spécification. Lorsque cette information est accessible, elle est prise en compte.

- cas des combustibles dont la teneur en soufre est variable même à l'intérieur des spécifications : exemple charbon, fioul lourd (FOL), gaz industriel, liqueur noire, etc.

Dans ce cas, l'utilisation des données disponibles sur une base individuelle est privilégiée et une teneur moyenne est appliquée dans les autres cas. L'utilisation de ces valeurs par défaut est éventuellement nuancée selon des critères géographiques pour des installations situées dans des zones faisant l'objet de dispositions réglementaires particulières dans lesquelles l'utilisation des combustibles très soufrés est limitée ou encore dans le cas d'utilisation de combustibles locaux particuliers comme le charbon de Gardanne employé dans quelques installations seulement avant la cessation d'exploitation en 2003.

En conclusion, l'utilisation de données spécifiques est privilégiée autant que possible et des valeurs par défaut dans les autres cas.

Pour les combustibles dont la teneur en soufre n'évolue pas ou peu, les facteurs d'émission applicables en Métropole et en Outre-mer sont présentés en section générale énergie.

Pour d'autres combustibles, comme le charbon, la teneur en soufre évolue en fonction de divers critères, en particulier l'origine des matières premières, et donc évolue d'une année sur l'autre. Les valeurs utilisées dans les inventaires en tiennent compte. De plus, les spécifications imposées à certains combustibles ont elles-mêmes évolué au cours du temps (exemple fioul domestique (FOD), gazole, etc.).

### Teneur en azote

La teneur en azote combiné des combustibles a une incidence sur la formation des NOx "fuel". Cependant, du fait de voies de formation multiples des oxydes d'azote (NOx "thermique" et NOx "prompt") et de la forte dépendance des émissions de NOx aux caractéristiques de l'équipement de combustion et de ses conditions d'exploitation, la teneur en azote des combustibles n'est pas utilisée pour déterminer les émissions.

### Teneur en carbone

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

L'émission de CO<sub>2</sub>, produit fatal de la combustion avec la vapeur d'eau est en très grande partie liée à la teneur en carbone du combustible.

Le pouvoir calorifique est lui-même dépendant de la teneur en carbone ainsi que de la teneur en hydrogène. Il en résulte que la dispersion des facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> rapportés à la quantité d'énergie consommée est bien moindre que lorsqu'ils sont rapportés à la masse ou au volume consommé, ce qui réduit l'incertitude associée à l'estimation des émissions. Cette dispersion réduite

justifie généralement, pour les combustibles classiques dont les caractéristiques sont relativement constantes, de ne pas rechercher systématiquement la teneur en carbone des produits par une analyse comme cela s'avère parfois judicieux pour le soufre vis-à-vis de certains combustibles. Sauf produits particuliers comme certains déchets, les valeurs évoluent peu d'une année sur l'autre et peuvent généralement être transposées sans précaution particulière. Les facteurs d'émission nationaux de CO<sub>2</sub> sont présentés dans la section générale énergie.

Il en résulte que les facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> sont généralement utilisés pour les installations de combustion quels que soient : l'année, le secteur et le type d'équipement.

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

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

Attention, il y a lieu d'estimer séparément le CO<sub>2</sub> 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).

### Teneurs en métaux lourds

Certains combustibles contiennent des quantités non négligeables d'éléments traces.

L'attention du lecteur est attirée sur le fait que lorsque des données spécifiques sont disponibles (exemple : les déclarations annuelles des émissions des installations), ces dernières sont utilisées en priorité. Pour certains émetteurs, des données spécifiques sont applicables pour tenir compte des caractéristiques propres au procédé, en particulier la mise en œuvre de techniques de réduction des particules qui ont un impact sur les métaux lourds ainsi que l'évolution de la réglementation (exemple : plomb contenu dans les carburants automobiles).

Il convient donc de vérifier, dans les sections correspondantes, l'existence de valeurs spécifiques.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
17/01/2024	BC/JMA	13/02/2024	JV

## FACTEURS D'EMISSION

Ce paragraphe décrit les facteurs d'émission par combustible utilisés lorsque des données plus précises ne sont pas disponibles.

### Références utilisées :

- [2] A3E2Th - Aide-mémoire du thermicien - Edition 1997 - Elsevier
- [3] Citepa - Combustion et émission de polluants - Monographie n°39 - 1984
- [6] Citepa - Nouveaux combustibles - Monographie n°49 - 1986
- [7] Déclarations annuelles des rejets de polluants pour 2001
- [13] UFIP - Données internes
- [14] CPDP - Pétrole (publication statistique annuelle)
- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [22] Ministère de l'Environnement - Circulaire du 24 décembre 1990
- [40] Zderik Parma & all. - Atmospheric Inventory Guidelines for Persistent Organic Pollutants, Axys Environmental Consulting - British Columbia, Canada - 1995
- [50] Données communiquées directement par les exploitants au Citepa
- [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
- [70] Citepa - BOUSCAREN R. - Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et de composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996
- [74] EMEP MSC EAST - Note technique 6/2000
- [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
- [350] Determination of atmospheric pollutant emission factors at small industrial wood burning furnace, AEAT, March 2001
- [355] PNUE - Outil spécialisé (Toolkit) pour l'identification et la quantification des rejets de dioxine et furanes, Février 2005
- [361] ECOBILAN / ADEME - Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants, PCW 2002, Novembre 2002
- [396] CONCAWE - Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries, 2009
- [412] ADEME - Communication de M. Erwan AUTRET du 20 octobre 2009
- [414] EMEP/EEA - Emission Inventory Guidebook, Part B111(S1)-6, December 2006

- [458] Citepa - Etude comparative des rejets atmosphériques des principales énergies de chauffage - Avril 2003
- [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)
- [552] DOUANES - Données annuelles de mise à la consommation d'agro-carburants issues des déclarations relatives à la TGAP (données non publiques)
- [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
- [637] EMEP/EEA Guidebook - édition 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 (CO<sub>2</sub>) ; Volume 2 - tables 2.2, 2.3, 2.4 et 2.5 (CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O)
- [639] Données internes Gaz de France basées sur des mesures
- [682] FE CO<sub>2</sub> par défaut du transport aérien, CENWG10 EG 5 : "Default values for air transport" - FNAM
- [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
- [939] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.1 Energy industries, tables 3-2 / 3-3 / 3-4 / 3-5 / 3-6, FE TSP, CO et COVNM
- [940] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.4 Small combustion, tables 3-23 / 3-24 / 3-25 / 3-27 / 3-29 / 3-30 / 3-31 pour FE NO<sub>x</sub>, TSP, CO et COVNM et tables 3-3 / 3-6 / 3-10 pour FE NH<sub>3</sub>
- [1022] Circulaire du 9 mars 2012 relative à la taxe générale sur les activités polluantes & ses annexes
- [1210] Méthode de calcul du facteur d'émission CO<sub>2</sub> des points d'entrée du gaz naturel, Citepa&GRTgaz
- [1212] Cortea Acibioqa - Amélioration des connaissances en matière d'impact des chaufferies biomasse sur la qualité de l'air, ADEME
- [1224] EMEP/EEA Guidebook - 2006 - group 02 - chapitre B216 - Tables 8.2d et 8.2e
- [1264] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 1A1 Energy industries - Table 4.2 - Tier 1 emission factors for source category 1.A.1.b, refinery gas pour FE NO<sub>x</sub>
- [1265] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, section 1A1 Energy industries - Table 3.15 - Tier 2 emission factors for source category 1.A.1.a dry bottom boiler using wood and wood waste pour FE ML
- [1273] HEFA Production and Feedstock Selection 2019, CBSCI
- [1274] CARBURE : La plateforme de gestion des flux de biocarburants, <https://carbure.beta.gouv.fr/>

## Calcul des émissions des installations consommant de l'énergie :

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

- soit à partir d'une approche individuelle des sources appliquée aux grandes sources ponctuelles pour lesquelles on dispose de données par le biais de diverses enquêtes : déclarations annuelles des émissions de polluants dans l'atmosphère, inventaire des Grandes Installations de Combustion (GIC), etc. La mesure directe des émissions ou les estimations spécifiques établies par bilan, corrélation, voire facteurs d'émission sont prises en compte dans la mesure où tout ou partie des éléments de l'estimation traduisent une spécificité de l'installation considérée. Ces données sont en partie validées par les vérificateurs agréés dans le cas des émissions de CO<sub>2</sub> entrant dans le champ du système d'échange des quotas (SEQE) et en tout état de cause dans tous les cas par les autorités locales (DRIRE/D(R)EAL) et nationales (Ministère en charge de l'Environnement) ainsi que par le Citepa au travers des procédures de vérification liées à l'établissement des inventaires d'émissions (cf. section relative aux incertitudes).

En règle générale, l'information et par suite l'estimation découlant de la mesure des émissions sont retenues en priorité. Corrélations et bilans viennent ensuite. Ces derniers sont généralement à l'origine d'estimations assez précises pour certaines substances (SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, 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/Nm<sup>3</sup>)

$Q_v$  : débit volumique d'effluents rejetés à l'atmosphère (en Nm<sup>3</sup>/h)

$t, t_1 \dots t_n$  : 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  $S \rightarrow SO_2$ ,  $C \rightarrow CO_2$ ).

### Facteur d'émission :

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

avec :

$E_s$  : émission de la substance s (en unité massique)

$Q_f$  : quantité de combustible f consommé (en masse)

$PCI_f$  : pouvoir calorifique inférieur du combustible f (en unité énergétique/unité massique)

$FE_{s,f}$  : facteur d'émission de la substance s pour le combustible f (en unité massique de polluant/unité énergétique)

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

## Méthode d'estimation des émissions de GES (OMINEA et NIR) :

### **Emissions de $CO_2$**

#### *A. CAS GENERAL (hors agro-carburants)*

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

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

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

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

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

Ces facteurs d'émission présentés dans le tableau ci-après résultent d'une compilation de données plus ou moins nombreuses selon les types de combustibles. Les valeurs recommandées par le GIEC sont parfois légèrement différentes, mais il convient de rappeler que les valeurs du GIEC sont des moyennes internationales qui ne sont pas nécessairement représentatives de la spécificité d'un pays

donné, donc du cas français et que l'utilisation de données spécifiques nationales voire spécifiques de chaque installation est encouragée sous réserve de justification.

Dans le cas du facteur d'émission CO<sub>2</sub> du gaz naturel (NAPFUE 301), celui-ci est déterminé à partir des données des données du réseau de transport de la majorité de l'acheminement du gaz en France métropolitaine (interconnexions gazières aux frontières et terminaux méthaniers GRTgaz) [1210] :

- Pour les valeurs postérieures à 2019, le FE est calculé à partir des moyennes journalières des mesures par chromatographie déterminant la composition du gaz naturel et des volumes transactionnels, cela sur chaque point d'entrée en France. Des filtrages et des contrôles de cohérence étant effectués sur ces données d'entrée (volume transité faible, écart entre la densité et le PCS calculés à partir de la composition du gaz), les FE obtenus sur chaque entrée sont alors pondérés des volumes transactionnels de gaz naturel reçu.
- Pour les années 2012 à 2018, les compositions mesurées en 2019 sont utilisées et sont pondérées à partir des volumes de gaz naturel reçus pour chaque point d'entrée sur le réseau. Le facteur d'émission et les compositions du gaz naturel postérieurs à 2019 évoluent avec l'influence du gaz naturel américain (plus riche en méthane et plus pauvre en hydrocarbures lourds) et l'augmentation de la part du GNL (qui ne comporte pas de CO<sub>2</sub>). Avant 2019, les qualités gaz des points d'entrées sont considérées comme stable au regard de la précision recherchée.
- Pour les années de 1999 à 2011, le FE retenu est la moyenne du FE de 2012 à 2017, celui-ci étant considéré comme stable.
- Pour les années de 1990 à 1998, le FE retenu est la moyenne du FE de 2012 à 2017 en enlevant l'arrivée GASSCO (canalisation off-shore d'atterrage à Dunkerque), celui-ci n'étant alors pas en service.

Les facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> des combustibles considérés comme de la biomasse (bois et assimilés, déchets agricoles, biogaz, biométhane, etc...) ne sont pas nuls. Les émissions induites sont rapportées, pour information, distinctement des émissions de CO<sub>2</sub> fossile.

Le fioul domestique (NAPFUE 204) et la gazole (NAPFUE 205) sont considérés comme des combustibles similaires utilisés dans des secteurs différents et pouvant être soumis à une fiscalité spécifique. Les mesures présentées ci-après pour déterminer le facteur d'émission du CO<sub>2</sub> pour 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.

## 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 <sub>2</sub> / GJ (y compris facteur d'oxydation)		
101	Charbon à coke	[90,5 - 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	[103,4 - 109,1]	107	[638]
110	Coke de pétrole	[87,8 - 97,5]	variable selon les années	-
111	Bois et assimilé	[90,0 - 128]	96,8 (rapporté pour information)	[766]
115	Déchets industriels	[20,9 - 183]	variable selon les années	[19]
116	Déchets de bois	[92,0 - 107]	96,8 (rapporté pour information)	Idem bois (111)
117	Déchets agricoles	[69,2 - 122,5]	99 (rapporté pour information)	[765]
118	Boues d'épuration	[36,5 - 173]	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		Cf. méthode décrite ci-dessous	
206	Kérosène ou Pétrole lampant	[71,6 - 73,5]	73,5	[682]
208	Essence		Cf. méthode décrite ci-dessous	
214	Solvants usagés	[72,0 - 86,0]	82,3	Moyenne 2014-2016 [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.)	[50,0 - 86,8]	73,3	[638]
301	Gaz naturel type H (Lacq) / B (Groningue)	[52,3 - 58,9]	Variable selon les années	[1210]
31B	Biométhane		Cf. gaz naturel ci-dessus	

Code NAPFUEc	Désignation	Intervalle sectoriel observé dans l'inventaire depuis 1990	Valeur nationale	Source
		kg CO <sub>2</sub> / GJ (y compris facteur d'oxydation)		
303	Gaz de pétrole liquéfié	[50,6 - 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]
308	Gaz de raffinerie / pétrochimie	[49,2 - 74,6]	57,6	[638]
309	Biogaz	[57 - 102]	Variable selon %CH <sub>4</sub> [30% - 90%]	Calcul théorique selon %C moyen
312	Gaz d'aciérie	[189 - 190]	188,7	[50]

Cas particulier des facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> liés à la combustion du gazole/GNR (NAPFUE = 205) et de l'essence (NAPFUE = 208)

Chaque année, la DGEC (Direction générale de l'énergie et du climat 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 <sub>H:C</sub>	R <sub>O:C</sub>	R <sub>H:C</sub>	R <sub>O:C</sub>
E10	1,929	0,032	1,932	0,031
E5 (SP95)	1,918	0,023	1,878	0,022
E5 (SP98)	1,898	0,023	1,923	0,022
Gazole	1,906	0,007	1,937	0,007

A partir des mesures, les facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> des produits pétroliers  $FE_{pp}$  sont recalculés en supposant que les facteurs d'émission de CO<sub>2</sub>  $FE_{bio}$  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 <sub>2</sub> /g carburant)	3,189	3,175
$FE_{pp}$ (kg CO <sub>2</sub> /GJ)	72,48	74,52

Pour obtenir le facteur d'émission de l'essence plombée, une évolution du ratio R<sub>H:C</sub> entre l'essence plombée et l'essence non plombée proportionnelle à l'évolution de ce ratio dans COPERT a été utilisé.

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

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

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

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

## B. CAS DES AGRO-CARBURANTS

L'estimation des émissions de CO<sub>2</sub> issues de la combustion des agro-carburants est réalisée en intégrant dans le calcul des émissions des différents secteurs consommant de l'essence, du gazole ou du kérosène aviation (mélanges de produits pétroliers et d'agro-carburants), les pourcentages massiques, volumiques ou énergétiques (en fonction de l'activité) d'agro-carburants ainsi que leurs facteurs d'émissions.

Pour rappel, les émissions de CO<sub>2</sub> 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 uniquement à la partie biogénique des agro-carburants (bio-essence, bio-gazole et bio-kérosène).

Le bio-essence est composé d'éthanol pur et d'ETBE dont les taux d'incorporation respectifs diffèrent suivant les années. L'ETBE est obtenu à partir d'éthanol et d'isobutène (produit non biogénique), il est donc considéré que la partie biogénique de l'ETBE est équivalente à 47% volumique d'éthanol.

Le bio-gazole est composé de différents produits (EMAG<sup>8</sup> 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.

Le bio-kérosène est composé, en 2022, uniquement d'acides gras et d'esters hydrotraités (HEFA) qui sont des produits 100% biogéniques [1273, 1274].

Les livraisons de carburants étant fournies comme étant les livraisons de mélanges (essence+bio-essence, gazole+bio-gazole, kérosène+bio-kérosène), 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 TGAP<sup>9</sup>, devenue TIRIB<sup>10</sup> en 2019 puis TIRUERT en 2022<sup>11</sup>.

Les données pour calculer les facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> de chaque agro-carburant sont issues de l'ADEME [361] ainsi que de Carbone [1274] et du CBSCI [1273].

Le facteur d'émission pour le bio-essence, est le facteur d'émission de l'éthanol (seule partie bio), déterminé à partir du contenu carbone de l'éthanol (52,2% [361]) :

$$FE \text{ CO}_2 \text{ bio-essence} = 52,2\% \times 44,011 / 12,011 = 1,913 \text{ tCO}_2/\text{t bio-essence}$$

Le facteur d'émission pour le bio-gazole, est le facteur d'émission pondéré de la partie bio des EMAG et du bio-gazole de synthèse (de formule C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub> [1022], i.e. Fisher-Tropsch).

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

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

<sup>10</sup> Circulaire du 12/06/2019 relative à la taxe incitative relative à l'incorporation de biocarburants.

<sup>11</sup> Circulaire du 29/11/2022 relative à la taxe incitative relative à l'utilisation d'énergie renouvelable dans les transports.

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

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

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

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

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)

Le facteur d'émission pour le bio-kérosène est le facteur d'émission déterminé à partir du contenu carbone de l'HEFA (84,9% [1273]) :

$$FE \text{ CO}_2 \text{ bio-kérosène} = 84,9\% \times 44,011 / 12,011 = 3,111 \text{ tCO}_2/\text{t bio-biokérosène}$$

Table 1: Physical and chemical properties of diesel and jet fuel<sup>P</sup>

PROPERTY	PETROLEUM DIESEL	BIODIESEL	HEFA DIESEL	PETROLEUM JET A	HEFA JET
Carbon Chain Length	C18-C21	C18-C20	C18-C20	C9-C15	C9-C15
Carbon, wt%	86.8	76.2	84.9	-	-
Hydrogen, wt%	13.2	12.6	15.1	-	-
Oxygen, wt%	0.0	11.2	0.0	0.0	0.0
Specific Gravity	0.84	0.88	0.78	0.75-0.84	0.73-0.77
Cetane	40 to 52	45 to 55	70 to 90	< 40	< 80
Cloud Point (°C)	-5	-25 to 2	-30 to -5	-47 to -40	-57
Sulphur (ppm)	< 10	20	< 2	< 3000 <sup>3</sup>	< 15
Specific energy (MJ/kg)	43	39	44	42.8	43.9
Aromatics (vol %)	< 12	-	0	< 25	0

Données utilisées pour la détermination du FE de l'HEFA ([1273] p6)

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'émissions 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	2020	2021	2022
%ETBE	97%	70%	57%	43%	43%	36%
%Ethanol	3,3%	30%	40%	55%	53%	63%
%Bioessence de synthèse	0%	0%	2,3%	2,0%	4,5%	1,8%
%bio dans les agro-carburants de l'essence	49%	63%	70%	77%	77%	81%

Répartition des agro-carburants du gazole mis à la consommation	2005	2010	2015	2020	2021	2022
%EMAG totaux	100%	99%	94%	91%	89%	96%
%Biogazole de synthèse	0%	1,1%	5,6%	9,2%	11%	4,3%
%bio dans les agro-carburants du gazole	94,8%	94,9%	95,1%	95,3%	95,4%	95,1%

Répartition des agro-carburants du kérosène mis à la consommation	2005	2010	2015	2020	2021	2022
%v Biokérosène	0%	0%	0%	0%	0%	100%
%v bio dans les agro-carburants du kérosène	0%	0%	0%	0%	0%	100%

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 N<sub>2</sub>O sont généralement faibles exceptés pour certains équipements tels que les lits fluidisés (par exemple dans la production centralisée d'électricité, se reporter à la section correspondante).

Les émissions de N<sub>2</sub>O 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.

### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (OMINEA et IIR) :**

#### **Emissions de SO2**

Les émissions se calculent à partir des trois formules décrites précédemment selon les cas rencontrés en privilégiant les données spécifiques à la source ou au secteur considéré.

Sauf cas particulier (présence de système de traitement du SO<sub>2</sub> (déSOx), certaines installations consommant du charbon et certaines installations spécifiques pour lesquelles une partie du soufre du combustible est retenue par la matière première produite), la rétention de soufre est supposée nulle.

Dans le cas du recours à des facteurs d'émission par combustible utilisés lorsque des données plus précises ne sont pas disponibles, certaines valeurs sont stables dans le temps alors que d'autres au contraire, évoluent selon les années (exemple : fioul lourd). Les facteurs d'émission de SO<sub>2</sub> stables dans le temps sont présentés dans les tableaux suivants alors que ceux évoluant par année sont disponibles dans la base de données OMINEA. Ils sont applicables aussi bien en Métropole qu'en Outre-mer.

Code NAPFUEc	Désignation	Facteur d'émission en g SO <sub>2</sub> / GJ	Source
101 et 102	Charbons (hors Gardanne)	évolution annuelle	-
103	Charbon sous-bitumineux	évolution annuelle	-
105	Lignite	évolution annuelle	-
107	Coke de houille	évolution annuelle	-
110	Coke de pétrole	938	Base de 1,5% de S
111	Bois et assimilé	10	[412]
116	Déchets de bois	10	analogie avec le bois
203	Fioul lourd HTS / BTS / TBTS / TTBTs	évolution annuelle	Selon la consommation des différentes qualités de FOL
204	Fioul domestique	évolution annuelle	Selon les évolutions réglementaires
205 et 25B	Gazole, Gazole Non Routier et Biocarburant gazole	évolution annuelle	Selon les évolutions réglementaires
208 et 28B	Essence et biocarburant essence	évolution annuelle	Selon les évolutions réglementaires
214	Solvants usagés	78	[7]
215	Liqueur noire	Valeurs spécifiques	-
218	Autres déchets liquides	Valeurs spécifiques	-
301	Gaz naturel	0,5	[2, 3]
31B	Biométhane	Idem gaz naturel	
303	GPL GPLc	2,2 8,7 jusqu'en 2009 et 2,2 depuis 2010	[13, 14]
304	Gaz de cokerie	530	[3, 6]
305	Gaz de haut fourneau	30	[637]
308	Gaz de raffinerie / pétrochimie	Valeurs spécifiques	-
309	Biogaz (55% CH <sub>4</sub> )	Valeurs spécifiques	-
312	Gaz d'aciérie	14	[6]

## Emissions de NOx

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

Elles sont déterminées, soit par mesure, soit au moyen d'un facteur d'émission (systématique pour les petites sources fixes et les sources mobiles) (formules (1) et (3) de la section ci-dessus). Les facteurs d'émission par défaut pour les chaudières des installations industrielles sont présentés dans le tableau suivant. Ils sont applicables aussi bien en Métropole qu'en Outre-mer.

Code NAPFUEc	Désignation	Facteur d'émission en g NO <sub>x</sub> / GJ	Source
101 à 105	Charbons, agglomérés de houille, lignite	160 (foyer à grille classique), 200 (foyer à projection), 340 (chauffe frontale), 280 (chauffe tangentielle), 95 à 150 (lit fluidisé), 160 (autres secteurs)	[22] [458]
111	Bois	200	[67]
203	Fioul lourd	170	[22]
204	Fioul domestique	100	[22]
224	Autres produits pétroliers	170	[22]
301	Gaz naturel	60	[22]
31B	Biométhane	Idem gaz naturel	
303	Gaz de pétrole liquéfié (GPL)	60	[22]
308	Gaz de raffinerie / pétrochimie	63	[1264]

Les autres équipements (turbines, moteurs fixes, fours et autres) sont traités au cas par cas. En règle générale, les facteurs d'émission sont significativement plus élevés. Excepté pour les fours et certains cas particuliers, les données disponibles sont globales et ne permettent pas de distinguer les différents équipements qui sont alors assimilés à des chaudières.

Dans les cas des secteurs de la production de chaleur centralisée et du résidentiel-tertiaire, des facteurs d'émission spécifiques sont utilisés, notamment pour la biomasse (se reporter aux sections correspondantes).

**Emissions de COVNM**

Les émissions sont généralement déterminées au moyen d'un facteur d'émission. Les facteurs d'émission par défaut pour les chaudières des installations industrielles sont présentés dans le tableau suivant.

Code NAPFUEc	Désignation	Facteur d'émission en g COVNM / GJ	Source
101 à 104	Charbons, agglomérés de houille	1 et 23 selon les puissances	[939, 940]
105	Lignite	1,4 et 23 selon les puissances	[939, 940]
111	Bois	4,8	[67]
203	Fioul lourd	2,3 et 5 selon les puissances	[939, 940]
204	Fioul domestique	0,8 et 15 selon les puissances	[939, 940]
224	Autres produits pétroliers	2,3 et 5 selon les puissances	assimilé au FOL
301	Gaz naturel	2,6 et 2 selon les puissances	[939, 940]
31B	Biométhane	Idem gaz naturel	
303	Gaz de pétrole liquéfié (GPL)	2,6 et 2 selon les puissances	[939, 940]
308	Gaz de raffinerie / pétrochimie	2,58	[1264]

Les autres équipements (turbines, moteurs fixes, fours et autres) sont traités au cas par cas quand la distinction des consommations est disponible.

Dans les cas des secteurs de la production de chaleur centralisée et du résidentiel-tertiaire, des facteurs d'émission spécifiques sont utilisés, notamment pour la biomasse (se reporter aux sections correspondantes).

### **Emissions de CO**

Les remarques ci-dessus relatives aux NOx s'appliquent sauf aux TAG en ce qui concerne le facteur d'émission. Toutefois, la mesure est rarement pratiquée et l'utilisation d'un facteur d'émission est quasi généralisée.

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

Code NAPFUEc	Désignation	Facteur d'émission en g CO / GJ	Source
101 à 104	Charbons, agglomérés de houille, lignite	8,7 et 350 selon les puissances	[939, 940]
105	Lignite	8,7 et 350 selon les puissances	assimilé au charbon
111	Bois	250	[67]
203	Fioul lourd	15,1 et 40 selon les puissances	[939, 940]
204	Fioul domestique	16,2 et 40 selon les puissances	[939, 940]
224	Autres produits pétroliers	15,1 et 40 selon les puissances	assimilé à du FOL
301	Gaz naturel	39 et 30 selon les puissances	[939, 940]
31B	Biométhane	Idem gaz naturel	
303	Gaz de pétrole liquéfié (GPL)	39 et 30 selon les puissances	[939, 940]
308	Gaz de raffinerie / pétrochimie	12,1	[1264]

Dans le cas des secteurs de la production de chaleur centralisée et résidentiel-tertiaire, des facteurs d'émission spécifiques sont utilisés (se reporter aux sections correspondantes).

Emissions de NH<sub>3</sub>

Les émissions de NH<sub>3</sub> liées à la combustion sont faibles sauf en présence d'équipements d'épuration particuliers. Pour les sources fixes, les émissions de NH<sub>3</sub> liées à la combustion sont estimées selon les principes suivants :

- Installations > 50 MW (chaudières) : d'après le Guidebook EMEP [939], pour les installations >50 MW, il n'est pas attendu de NH<sub>3</sub> sauf en cas de système d'abattement des émissions de NO<sub>x</sub> (SCR ou SNCR).
- Installations < 50 MW (chaudières) : d'après le Guidebook EMEP [940], pour toutes les chaudières < 50 MW et les appareils du résidentiel consommant des combustibles solides, du NH<sub>3</sub> est susceptible d'être émis du fait de températures basses dans la chambre de combustion. Il n'y a pas de FE pour les CMS du 1A4a/c (Not estimated (NE) dans le Guidebook) mais des facteurs sont disponibles pour le bois et pour les CMS du résidentiel.

Type d'installations	FE bois	FE CMS
Chaudières < 50 MW	37 g/GJ	Not estimated
Chaudières et autres équipements du résidentiel	selon équipements	0,3 g/GJ

- Fours : Il n'est pas attendu d'émissions de NH<sub>3</sub> dans les fours de l'industrie car les températures y sont plus élevées que dans les chaudières.

Dans le cas du secteur résidentiel et plus spécifiquement pour la biomasse, des facteurs d'émission spécifiques sont utilisés (se reporter aux sections correspondantes).

Pour les sources mobiles, les facteurs d'émission utilisés sont décrits dans les sections appropriées.

**Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Les émissions de particules totales sont déterminées, soit par mesure, soit au moyen d'un facteur d'émission.

La présence et la quantité de particules totales varient selon la nature du combustible, l'origine de ce dernier et les émissions dépendent au moins pour certains de la nature des équipements thermiques et des dispositifs d'épuration.

Les facteurs d'émission présentés ci-après sont des valeurs nationales applicables, sauf indication contraire spécifique, aux installations de combustion < 50 MW. En effet pour les installations > 50 MW, des mesures sont en général réalisées. Attention, comme indiqué ci-dessus, la variabilité des équipements dans certains secteurs conduit à utiliser des facteurs d'émission différents. A titre d'exemple, dans le secteur résidentiel, l'utilisation de la biomasse dans des équipements moins performants que des chaudières industrielles abouti à sur des émissions particulières plus importantes.

En pratique, l'utilisateur de cette section doit vérifier que des facteurs d'émission spécifiques ne sont pas définis pour des catégories de sources particulières avant d'employer ces valeurs. L'absence d'indication signifie que, soit l'émission est négligeable, soit que seules des valeurs spécifiques sont applicables.

Ces facteurs d'émission proviennent des Guidebook EMEP [940][1224] et de l'étude du Citepa [67] pour le bois.

Ces facteurs d'émission sont applicables en Métropole et en Outre-mer.

Code NAPFUEc	Désignation	Facteur d'émission en g TSP/ GJ < 50 MW (hors résidentiel)	Référence
101	Charbon à coke	82	[940]
102	Charbon vapeur	82	[940]
103	Charbon sous-bitumineux	82	[940]
105	Lignite	82	[940]
111	Bois et assimilé	100*	[67]
116	Déchets de bois	100*	[67]
203	Fioul lourd HTS / BTS / TBTS	50	[1224]
204	Fioul domestique	5	[1224]
301	Gaz naturel	0,9	[939]
31B	Biométhane	Idem gaz naturel	
303	Gaz de pétrole liquéfié	0,9	[939]

\* à noter que le FE proposé pour le bois ne tient probablement pas compte des systèmes de traitement des poussières qui pourraient être mis en œuvre.

Dans les cas du secteur du chauffage urbain, des secteurs tertiaire, industriel et agricole, des facteurs d'émission spécifiques peuvent être utilisés pour la biomasse pour les installations identifiées comme inférieures à 20 MW (se reporter aux sections correspondantes).

#### **Emissions de PM10, PM2,5, PM1,0**

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

Les émissions de particules totales sont déterminées, soit par mesure, soit au moyen d'un facteur d'émission.

Les profils granulométriques varient suivant le combustible et le ou les type(s) de dépoussiéreur(s) mis en œuvre. Pour chaque secteur de l'énergie, excepté la production d'électricité et la combustion du bois dans le secteur résidentiel, une combinaison des différents types de dépoussiéreurs mis en œuvre (cyclones, laveurs, électrofiltres, filtres à manches) est retenue et les profils suivants sont appliqués [66] sauf indication contraire indiquée dans les sections spécifiques à chaque catégorie de sources :

Combustibles minéraux solides hors bois :

Codes NAPFUEc concernés : 102 - 103 - 104 - 105

tranche granulométrique	% répartition des particules totales				
	Electrofiltre	Filtre à manches	Laveur	Cyclone	sans dépoussiérage
PM <sub>10</sub>	75	76	71	68	26
PM <sub>2,5</sub>	41	40	51	43	10
PM <sub>1,0</sub>	20	20	31	30	5

Combustibles pétroliers :

Codes NAPFUEc concernés : 203 - 204 - 303

<i>tranche granulométrique</i>	% répartition des particules totales				
	<i>Electrofiltre</i>	<i>Filtre à manches</i>	<i>Laveur</i>	<i>Cyclone</i>	<i>sans dépoussiérage</i>
PM <sub>10</sub>	63	63	100	95	66
PM <sub>2,5</sub>	41	41	97	22	38
PM <sub>1,0</sub>	28	28	84	21	27

Bois et déchets de bois :

Codes NAPFUEc concernés : 111 - 116

<i>tranche granulométrique</i>	% répartition des particules totales		
	<i>Electrofiltre, Filtre à manches, Laveur</i>	<i>Cyclone</i>	<i>sans dépoussiérage</i>
PM <sub>10</sub>	92	60	62
PM <sub>2,5</sub>	77	32	48
PM <sub>1,0</sub>	59	15	40

Gaz naturel :

Codes NAPFUEc concernés : 301

Les émissions dues à la consommation de gaz naturel sont généralement faibles par comparaison avec les autres combustibles quelle que soit la taille des particules [414]. Il est fait l'hypothèse que toutes les particules sont des PM<sub>1,0</sub>.

<i>tranche granulométrique</i>	<i>% répartition des particules totales</i>
PM <sub>10</sub>	100
PM <sub>2,5</sub>	100
PM <sub>1,0</sub>	100

### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio est dépendant du type de combustible et du secteur où a lieu la combustion. La principale source de données pour ces ratios est le Guidebook EMEP/EEA sur les inventaires d'émissions de polluants dans sa version la plus récente. Les pourcentages utilisés sont présentés dans chaque section.

### **Métaux lourds (ML)**

Ces éléments traces sont contenus en quantité variable dans les combustibles ainsi que dans les matières premières entrant dans certains procédés industriels. Leur présence et leurs quantités varient selon la nature du combustible, l'origine de ce dernier et les émissions dépendent au moins pour certains de la nature des équipements thermiques et des dispositifs d'épuration.

Les métaux lourds considérés dans les inventaires d'émission (dans le cadre de la convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance ainsi qu'au titre de l'E-PRTR) sont : Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Sélénium (Se) et Zinc (Zn).

D'autres éléments métalliques peuvent être présents tels que Vanadium (V), Cobalt (Co), Thallium (Tl), etc. Cependant, ceux-ci, bien que faisant l'objet de valeurs limites d'émissions dans le cadre des dispositions réglementaires nationales, n'appartiennent pas actuellement aux champs délimités pour les inventaires d'émission.

Les facteurs d'émission qui suivent, proviennent de plusieurs études :

- étude du Citepa [70],
- article scientifique d'Atmospheric Environment [573],
- guide EMEP édition 2013 ([574] et [575]),
- mesures réalisées par GDF [639],
- projet Cortea de l'ADEME [1212].

Ces facteurs d'émission sont des valeurs nationales applicables, sauf indication contraire spécifique, aux installations de combustion. Attention, comme indiqué ci-dessus, la variabilité des équipements dans certains secteurs conduit à utiliser des facteurs d'émission différents. A titre d'exemple, dans le secteur résidentiel, l'utilisation de la biomasse dans des équipements moins performants que des chaudières industrielles débouche sur des émissions particulières plus importantes et par voie de conséquence des émissions de métaux lourds provenant de la biomasse plus importantes.

En pratique, l'utilisateur de cette section doit vérifier que des facteurs d'émission spécifiques ne sont pas définis pour des catégories de sources particulières avant d'utiliser ces valeurs. L'absence d'indication signifie que, soit l'émission est négligeable, soit que seules des valeurs spécifiques sont applicables. Ces facteurs d'émission sont applicables en Métropole et en Outre-mer.

#### Arsenic

Code NAPFUEc	Désignation	mg As/ GJ	référence
101	Charbon à coke	2,7	[70]
102	Charbon vapeur	2,7	[70]
103	Charbon sous-bitumineux	3,5	[70]
105	Lignite	4,1	[70]
111	Bois et assimilé	9,46 et 9,5 selon les puissances	[1265][70]
116	Déchets de bois		
117	Déchets agricoles		
203	Fioul lourd HTS / BTS / TBTS	4,5	[70]
204	Fioul domestique	0,002	[573]
205	Gazole / gazole non routier	0,002	[573]
301	Gaz naturel	0,012	[639]
31B	Biométhane	Idem gaz naturel	

## Cadmium

Code NAPFUEc	Désignation	mg Cd/ GJ	référence
101	Charbon à coke	0,15	[70]
102	Charbon vapeur	0,15	[70]
103	Charbon sous-bitumineux	0,20	[70]
105	Lignite	0,24	[70]
111	Bois et assimilé	1,76 et 1,4 selon les puissances	[1265][70]
116	Déchets de bois		
117	Déchets agricoles		
203	Fioul lourd HTS / BTS / TBTS	1,25	[70]
204	Fioul domestique	0,001	[573]
205	Gazole / gazole non routier	0,001	[573]
301	Gaz naturel	0,00007	[639]
31B	Biométhane	Idem gaz naturel	

## Chrome

Code NAPFUEc	Désignation	mg Cr/ GJ	référence
101	Charbon à coke	5,8	[70]
102	Charbon vapeur	5,8	[70]
103	Charbon sous-bitumineux	7,5	[70]
105	Lignite	8,8	[70]
111	Bois et assimilé	9,03 et 47 selon les puissances	[1265][70]
116	Déchets de bois		
117	Déchets agricoles		
203	Fioul lourd HTS / BTS / TBTS	8,5	[70]
204	Fioul domestique	0,286	[573]
205	Gazole / gazole non routier	0,286	[573]
301	Gaz naturel	0,0013	[639]
31B	Biométhane	Idem gaz naturel	

## Cuivre

Code NAPFUEc	Désignation	mg Cu/ GJ	référence
101	Charbon à coke	6,2	[70]
102	Charbon vapeur	6,2	[70]
103	Charbon sous-bitumineux	8,0	[70]
105	Lignite	9,4	[70]
111	Bois et assimilé	21,1 et 31 selon les puissances	[1265][70]
116	Déchets de bois		
117	Déchets agricoles		
203	Fioul lourd HTS / BTS / TBTS	6,5	[70]
204	Fioul domestique	0,174	[573]
205	Gazole / gazole non routier	0,174	[573]
301	Gaz naturel	0,006	[639]
31B	Biométhane	Idem gaz naturel	

## Mercure

Code NAPFUEc	Désignation	mg Hg/ GJ	référence
101	Charbon à coke	11,5	[70]
102	Charbon vapeur	11,5	[70]
103	Charbon sous-bitumineux	15	[70]
105	Lignite	17,7	[70]
111	Bois et assimilé	1,51 et 0,8 selon les puissances	[1265][70]
116	Déchets de bois		
117	Déchets agricoles		
203	Fioul lourd HTS / BTS / TBTS	2	[70]
204	Fioul domestique	0,055	[573]
205	Gazole / gazole non routier	0,055	[573]
301	Gaz naturel	0,0001	[639]
31B	Biométhane	Idem gaz naturel	

## Nickel

Code NAPFUEc	Désignation	mg Ni/ GJ	référence
101	Charbon à coke	7,7	[70]
102	Charbon vapeur	7,7	[70]
103	Charbon sous-bitumineux	10	[70]
105	Lignite	11,8	[70]
111	Bois et assimilé	14,2 et 11 selon les puissances	[1265][70]
116	Déchets de bois		
117	Déchets agricoles		
203	Fioul lourd HTS / BTS / TBTS	700	[70]
204	Fioul domestique	0,002	[573]
205	Gazole / gazole non routier	0,002	[573]
301	Gaz naturel	0,003	[639]
31B	Biométhane	Idem gaz naturel	

## Plomb

Code NAPFUEc	Désignation	mg Pb/ GJ	référence
101	Charbon à coke	2,7	[70]
102	Charbon vapeur	2,7	[70]
103	Charbon sous-bitumineux	3,5	[70]
105	Lignite	4,1	[70]
111	Bois et assimilé	20,6 et 90 selon les puissances	[1265][70]
116	Déchets de bois		
117	Déchets agricoles		
203	Fioul lourd HTS / BTS / TBTS	9,25	[70]
204	Fioul domestique	0,007	[573]
205	Gazole / gazole non routier	0,007	[573]
301	Gaz naturel	0,013	[639]
31B	Biométhane	Idem gaz naturel	

Dans le cas de l'essence, les facteurs d'émission de plomb ont évolué dans le temps du fait de la réglementation. Les données avant 2000 ont été communiquées par l'UFIP [13] et les données à partir de 2001 proviennent de l'article scientifique de « Atmospheric environment » [573].

Année	1990	1995	2000	A partir de 2001
Facteur d'émission Pb (mg/GJ)	4 915	1 686	12	0,034

## Sélénium

Code NAPFUEc	Désignation	mg Se/ GJ	référence
101	Charbon à coke	0,62	[70]
102	Charbon vapeur	0,62	[70]
103	Charbon sous-bitumineux	0,8	[70]
105	Lignite	0,9	[70]
111	Bois et assimilé	1,2 et 7 selon les puissances	[1265][70]
116	Déchets de bois		
117	Déchets agricoles		
203	Fioul lourd HTS / BTS / TBTS	4	[70]
204	Fioul domestique	0,002	[573]
205	Gazole / gazole non routier	0,002	[573]
301	Gaz naturel	0,00004	[639]
31B	Biométhane	Idem gaz naturel	

## Zinc

Code NAPFUEc	Désignation	mg Zn/ GJ	référence
101	Charbon à coke	19,2	[70]
102	Charbon vapeur	19,2	[70]
103	Charbon sous-bitumineux	25	[70]
105	Lignite	29,4	[70]
111	Bois et assimilé	181 et 290 selon les puissances	[1265][70]
116	Déchets de bois		
117	Déchets agricoles		
203	Fioul lourd HTS / BTS / TBTS	25	[70]
204	Fioul domestique	0,452	[573]
205	Gazole / gazole non routier	0,452	[573]
301	Gaz naturel	0,0015	[575]
31B	Biométhane	Idem gaz naturel	

## Polluants Organiques Persistants (POP)

Les Polluants Organiques Persistants (POP) pris actuellement en compte dans les inventaires d'émission et susceptibles d'être émis dans l'atmosphère lors de la combustion de combustibles sont les suivants :

- les dioxines et furannes (PCDD/F),
- les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP),
- les polychlorobiphényles (PCB),
- l'hexachlorobenzène (HCB).

Les émissions dépendent de la présence de certains composés dans les combustibles et les matières premières (notamment le chlore et le fluor) ainsi que de la nature des équipements thermiques, des conditions de fonctionnement et des dispositifs d'épuration.

Ces émissions sont très sensibles aux conditions de fonctionnement, en conséquence, les facteurs d'émission utilisés restent accompagnés d'une forte incertitude. Lorsque des mesures sont disponibles, celles-ci sont privilégiées.

Sauf cas particulier tel que les HAP pour la biomasse utilisée dans des foyers où la combustion est mal maîtrisée ou d'éventuels combustibles particuliers, les émissions de POP sont généralement faibles.

En ce qui concerne les HAP, l'inventaire d'émission différencie les composés suivants dont les quatre premiers correspondent aux composés couverts par la convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière :

- benzo(a)pyrène (BaP),
- benzo(b)fluoranthène (BbF),
- benzo(k)fluoranthène (BkF),
- indeno(1,2,3-cd)pyrène (IndPy),
- benzo(g,h,i)pérylène (BghiPe),
- fluoranthène (FluorA),
- benzo(a,h)anthracène (BahA),
- benzo(a)anthracène (BaA).

Les valeurs indiquées ci-après, sont les valeurs nationales appliquées par défaut pour les installations de combustion dès lors que des valeurs spécifiques ne sont pas définies pour une catégorie de source particulière (cf. les sections correspondantes).

En pratique, l'utilisateur de cette section doit vérifier que des facteurs d'émission spécifiques ne sont pas définis pour des catégories de sources particulières avant d'employer ces valeurs. L'absence d'indication signifie, soit que l'émission est négligeable, soit que seules des valeurs spécifiques sont applicables.

Il y a lieu de garder en mémoire la grande variabilité des émissions en fonction des conditions opératoires et le niveau limité des connaissances dans l'interprétation et l'utilisation de ces valeurs.

Ces facteurs d'émission s'appliquent en Métropole et en Outre-mer.

#### *Dioxines et furannes*

Les facteurs d'émission de dioxines et furannes proviennent d'un outil de l'UNEP [355] sauf pour le bois et les déchets agricoles pour lesquels une étude du Citepa est utilisée [67].

Code NAPFUEc	Désignation	ng PCDD/F lteq/ GJ
101	Charbon à coke	10
102	Charbon vapeur	10
103	Charbon sous-bitumineux	10
105	Lignite	10
111	Bois et assimilé	40
116	Déchets de bois	40
203	Fioul lourd HTS / BTS / TBTS	2,5
204	Fioul domestique	0,5
301	Gaz naturel	0,5
31B	Biométhane	0,5
303	Gaz de pétrole liquéfié	0,5

### Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

Au sens de la CEE-NU, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) regroupent les quatre substances suivantes : benzo(a)pyrène (BaP), benzo(b)fluoranthène (BbF), benzo(k)fluoranthène (BkF) et indéno(123-cd)pyrène (IndPy).

Les facteurs d'émission des HAP pour les sources fixes proviennent de plusieurs sources différentes :

- base de données CATEF [577] pour le fioul lourd et le fioul domestique,
- étude US-EPA [576] pour les combustibles gaz naturel et charbon/lignite,
- étude CONCAWE [396] pour le gaz de raffinerie.

Code NAPFUEc	Désignation	mg BaP/GJ	mg BbF/GJ	mg BkF/GJ	mg IndPy/GJ
101	Charbon à coke	0,0007	-	-	0,0012
102	Charbon vapeur	0,0007	-	-	0,0012
103	Charbon sous-bitumineux	0,0007	-	-	0,0012
105	Lignite	0,0007	-	-	0,0012
111 (*)	Bois et assimilé (< 50MW)	0,5	1,1	0,3	2,0
	Bois et assimilé (≥ 50MW)	1,118	0,043	0,015	0,037
116 (*)	Déchets de bois (< 50MW)	0,5	1,1	0,3	2,0
	Déchets de bois (≥ 50MW)	1,118	0,043	0,015	0,037
203	Fioul lourd HTS/BTS/TBTS	0,0075	0,0109	0,0024	0,004
204	Fioul domestique - Chaudière	0,0155	0,0125	0,0147	0,0196
204	Fioul domestique - TAC	0,0145	0,3477	0,3612	0,0087
301	Gaz naturel	0,0006	0,0008	0,0008	0,0008
31B	Biométhane		Idem gaz naturel		
303	Gaz de pétrole liquéfié	0,0006	0,0008	0,0008	0,0008
308	Gaz de raffinerie	0,0007	0,0011	0,0006	0,0006

(\*) dans l'industrie seulement, pour le résidentiel et le tertiaire, voir les sections relatives à ces deux secteurs.

Code NAPFUEc	Désignation	mg BghiPe / GJ	mg BaA / GJ	mg BahA / GJ	mg FluorA / GJ
101	Charbon à coke	0,0005	0,0015	-	0,0137
102	Charbon vapeur	0,0005	0,0015	-	0,0137
103	Charbon sous-bitumineux	0,0005	0,0015	-	0,0137
105	Lignite	0,0005	0,0015	-	0,0137
111 (*)	Bois et assimilé (< 50MW)	0,5	0,2	0,2	3,0
	Bois et assimilé (≥ 50MW)	0,04	0,028	0,004	0,688
116 (*)	Déchets de bois (< 50MW)	0,5	0,2	0,2	3,0
	Déchets de bois (≥ 50MW)	0,04	0,028	0,004	0,688
203	Fioul lourd HTS / BTS / TBTS	0,0064	0,004	0,0047	0,047
204	Fioul domestique - Chaudière	0,0207	0,0311	0,0155	0,0878
204	Fioul domestique - TAC	0,0092	0,0252	0,0087	0,2609
301	Gaz naturel	0,0006	0,0008	0,0006	0,0013

Code NAPFUEc	Désignation	mg BghiPe / GJ	mg BaA / GJ	mg BahA / GJ	mg FluorA / GJ
31B	Biométhane		Idem gaz naturel		
303	Gaz de pétrole liquéfié	0,0006	0,0008	0,0006	0,0013
308	Gaz de raffinerie	0,6	0,8	0,6	1,3

(\*) dans l'industrie seulement, pour le résidentiel et le tertiaire, voir les sections relatives à ces deux secteurs.

#### Polychlorobiphényles

Les facteurs d'émission de polychlorobiphényles (PCB) proviennent de plusieurs sources [40, 346, 347, 350].

Code NAPFUEc	Désignation	µg PCB / GJ	Référence
101	Charbon à coke	55	[346]
102	Charbon vapeur	55	[346]
103	Charbon sous-bitumineux	72	[346]
105	Lignite	141 (<50 MW) 106 (>50 MW)	[40]
111	Bois et assimilé	31	[350]
116	Déchets de bois	31	assimilé au bois
203	Fioul lourd HTS / BTS / TBTS	15	[40]
204	Fioul domestique	8,6	[347]
301	Gaz naturel	A priori nul ou négligeable	
31B	Biométhane	A priori nul ou négligeable	

#### Hexachlorobenzène

Les facteurs d'émission d'hexachlorobenzène (HCB) pour les sources fixes et mobiles proviennent du guidebook EMEP [74].

Code NAPFUEc	Désignation	µg HCB / GJ
101	Charbon à coke	0,62
102	Charbon vapeur	0,62
111	Bois et assimilé	3,3
116	Déchets de bois	3,3
117	Déchets agricoles	3,3
203	Fioul lourd HTS / BTS / TBTS	
204	Fioul domestique	A priori nul ou négligeable
301	Gaz naturel	
31B	Biométhane	

## Production d'énergie

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
17/01/2024	BC	13/02/2024	JV

## CHAUFFAGE URBAIN

Cette section concerne les installations de chauffage urbain.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.1.a
CEE-NU / NFR	1.A.1.a
SNAPc (extension CITEPA)	01.02.01 à 01.02.05
CE / directive IED	1.1 (champ limité aux installations > 50 MW)
CE / E-PRTR	1c (champ limité aux installations > 50 MW)
CE / directive GIC	01.02.01 et 01.02.02 (+01.02.04 à partir de l'inventaire relatif à 2004)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up limité aux installations > 50 MW qui sont considérées individuellement et consolidation sur l'enquête sectorielle annuelle	Valeurs spécifiques à chaque installation considérée individuellement pour le SO <sub>2</sub> , les NO <sub>x</sub> , les particules et le CO <sub>2</sub> (pour les installations couvertes par le SEQE). Valeurs nationales ou valeurs par défaut pour les autres substances et les autres installations

### Niveau de méthode :

CO<sub>2</sub> : Rang 2/3 du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations

CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O : Rang 1

### Références utilisées :

- [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
- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [39] Citepa - Inventaire des grandes installations de combustion en application des directives 88/609 et 2001/80/CE
- [41] SNCU - Enquête chauffage urbain (enquête annuelle)
- [42] OFEFP - Coefficients d'émission des sources stationnaires, éditions 1995 et 2000
- [183] Citepa - IER - Study on particulate matter emissions: particle size distribution chemical composition and temporal profiles - Interreg III for ASPA, January 2005

- [638] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - section 1.8 - table 1- 4 (CO<sub>2</sub>) ; Volume 2 - tables 2.2, 2.3, 2.4 et 2.5 (CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O)
- [936] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.1 Energy industries, tables 3-2 / 3-4 / 3-5 / 3-6 / 3-7 / 3-11 / 3-19, FE TSP et BC
- [968] US EPA - AP 42 - 5th edition, Volume 1 - Chapter 1.6: Wood Residue Combustion In Boilers - table 1.6-3
- [1004] Note confidentielle de l'ADEME - Proposition d'évolution des facteurs d'émission 1 à 20MW. 18/03/2019
- [1112] Panorama du gaz renouvelable - Publication annuelle - GRDF, GRTgaz, Syndicat des énergies renouvelables, SPEGNN, Teréga
- [1211] Valorisation et partage de la connaissance du parc des installations bois-énergie, rapports annuels, CIBE
- [1212] Cortea Acibioqa - Amélioration des connaissances en matière d'impact des chaufferies biomasse sur la qualité de l'air, ADEME
- [1269] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 1A1 Energy industries - Table 3-17 - Tier 2 emission factors for source category 1.A.1.a, gas turbines using gaseous fuels
- [1273] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.4 Small combustion, tables 3-8 / 3-9 / 3-23 / 3-45 pour FE BC

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Les installations de chauffage urbain sont distinguées en trois catégories :

- Installations de puissance supérieure à 50 MW : ces installations sont recensées individuellement chaque année dans le cadre de l'inventaire GIC (Grandes Installations de Combustion) [39] et leurs consommations sont donc connues de façon exhaustive. Il s'agit principalement de chaudières ;
- Les turbines à gaz supérieures à 20 MW : ces équipements sont recensés à partir des déclarations individuelles pour les quotas de GES depuis 2005 ;
- Installations de puissance inférieure à 50 MW : les consommations de ces installations sont tirées de l'enquête annuelle du SNCU. Il peut s'agir de chaudières, de TAG ou de moteurs. Une distinction supplémentaire est effectuée pour distinguer les équipements 20-50 MW et ceux < 20 MW à partir des déclarations individuelles pour les quotas de GES ainsi que les équipements inférieurs à 1 MW pour la biomasse

uniquement (la consommation des équipements est déterminée à partir des données annuelles du CIBE [1211]).

La catégorie spécifique des installations de production centralisée de chaleur hors chauffage urbain, (généralement à destination d'autres installations industrielles à proximité) est rapportée dans ce secteur. Les consommations de combustibles associées sont déduites du bilan énergétique national [1] mais ne couvrent que le gaz naturel et les CMS.

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

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.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Pour la houille et les combustibles gazeux hors gaz naturel, les émissions de CO<sub>2</sub> sont déterminées au moyen de facteurs d'émission, calculés à partir des émissions spécifiques déclarées par les installations soumises aux quotas [19] et des facteurs d'émission issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638] pour les installations non soumises aux quotas.

Pour le gaz naturel et le fioul lourd, les émissions de CO<sub>2</sub> sont déterminées au moyen de facteurs d'émission, calculés à partir des émissions spécifiques déclarées par les installations soumises aux quotas [19] et au moyen de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie) pour les installations non soumises aux quotas.

Pour les autres combustibles, les émissions de CO<sub>2</sub> sont déterminées au moyen de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie) ou par défaut et issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Les émissions de CH<sub>4</sub> sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Les émissions de N<sub>2</sub>O sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

**Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

**Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :****Emissions de SO<sub>2</sub>**

Pour les installations de puissance supérieure à 50 MW, les émissions de SO<sub>2</sub> sont déterminées à partir des déclarations annuelles des rejets [19]. En général, ces émissions sont estimées par les exploitants par mesure directe et/ou à partir du bilan soufre établi sur la base des consommations de combustibles et de leur teneur en soufre recensées chaque année.

Pour les autres installations, les émissions de SO<sub>2</sub> sont déterminées à partir de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie).

**Emissions de NO<sub>x</sub>**

Pour les installations de puissance supérieure à 50 MW, les émissions de NO<sub>x</sub> sont déterminées à partir des déclarations annuelles des rejets [19]. En général, ces émissions sont estimées par les exploitants par mesure directe et/ou à partir de facteurs d'émission.

Pour les turbines fonctionnant au gaz naturel, un facteur constant de 48 g/GJ issu de [1269] permet de déterminer les émissions de NO<sub>x</sub>.

Pour les autres installations, les émissions de NO<sub>x</sub> sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie), à l'exception des installations entre 20 et 50 MW fonctionnant au bois, pour lesquelles les FE sont déduits des déclarations annuelles de rejets selon le découpage suivant :

Période	1990-2001	2002-2010	2011-20XX
Facteur d'émission en g NO <sub>x</sub> /GJ	200	140	127,8

Une distinction spécifique est réalisée pour les facteurs d'émission de NO<sub>x</sub> des installations inférieures à 20 MW et pour celles inférieures à 1 MW fonctionnant à la biomasse [1212].

**Emissions de COVNM**

Les émissions de COVNM sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

Pour les turbines fonctionnant au gaz naturel, un facteur constant de 1,6 g/GJ issu de [1269] permet de déterminer les émissions de COVNM.

Une distinction spécifique est réalisée pour les facteurs d'émission de COVNM des installations inférieures à 20 MW faisant partie du Fond Chaleur de l'ADEME fonctionnant à la biomasse [1004] ainsi que pour les FE des installations inférieures à 1 MW [1212].

**Emissions de CO**

Les émissions de CO sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie). Une distinction spécifique est réalisée pour les facteurs d'émission de COVNM pour les FE des installations inférieures à 1 MW fonctionnant à la biomasse [1212].

Pour les turbines fonctionnant au gaz naturel, un facteur constant de 4,8 g/GJ issu de [1269] permet de déterminer les émissions de CO.

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission par défaut par combustible (cf. section générale énergie).

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Pour les installations de puissance supérieure à 50 MW, les émissions de TSP sont déterminées à partir des déclarations annuelles des rejets [19]. En général, ces émissions sont estimées par les exploitants par mesure directe et/ou à partir de facteurs d'émission.

Pour les turbines fonctionnant au gaz naturel, un facteur constant de 0,2 g/GJ issu de [1269] permet de déterminer les émissions de TSP.

Pour les autres installations, les émissions de TSP sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible. Ces valeurs sont présentées dans la section générale énergie sauf en ce qui concerne quelques combustibles pour lesquels des facteurs d'émission plus appropriés sont tirés des références [42][936]. Pour les installations entre 20 et 50 MW fonctionnant au bois, les FE sont déduits des déclarations annuelles de rejets [19] et résumés dans le tableau suivant :

Période	1990-2001	2002-2010	2011-20XX
Facteur d'émission en g TSP/GJ	100	18	12,8

Une distinction spécifique est réalisée pour les facteurs d'émission de TSP des installations inférieures à 20 MW faisant partie du Fond Chaleur de l'ADEME fonctionnant à la biomasse [1004].

### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1.0</sub>**

La granulométrie est obtenue en appliquant des profils granulométriques moyens par combustible et techniques de dépoussiérage et les hypothèses suivantes :

- Installations de puissance supérieure à 300 MW : ces installations sont supposées être équipées à 100% d'électrofiltres ;
- Installations de puissance entre 300 et 50 MW : ces installations sont supposées être équipées à 2/3 d'électrofiltres et à 1/3 de filtres à manches ;
- Installations de puissance inférieure à 50 MW : ces installations sont supposées être équipées à 50% d'électrofiltres et à 50% de cyclones.

Les profils granulométriques moyens par combustible sont présentés dans la section générale énergie sauf en ce qui concerne quelques combustibles pour lesquels des valeurs plus appropriées sont tirées de la référence [183].

### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2.5</sub>. Ce ratio provient des références [936][1273].

Les ratios retenus pour les installations de puissance supérieure à 50 MW [936] sont :

- De 2,2% pour les combustibles solides (hors biomasse solide),
- De 3,3% pour la biomasse solide,
- De 5,6% pour les combustibles liquides - FOL,
- De 33,5% pour les combustibles liquides - FOD,
- De 2,5% pour les combustibles gazeux.

Les ratios retenus pour les installations de puissance inférieure à 50 MW [1273] sont :

- De 6,4% pour les combustibles solides (hors biomasse solide),
- De 15% pour la biomasse solide,
- De 56% pour les combustibles liquides,
- De 4,0% pour les combustibles gazeux.

### ***Métaux lourds (ML)***

Les émissions de l'ensemble des métaux lourds sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

Pour l'arsenic (As), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le nickel (Ni) et le plomb (Pb), des facteurs d'émission spécifiques sont utilisés pour les installations de puissance inférieure à 20 MW ou inférieure à 1MW fonctionnant au bois [1212].

### ***Dioxines et furannes (PCDD-F)***

Les émissions de dioxines/furannes sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

### ***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Au sens de la CEE-NU, les HAP regroupent les quatre substances suivantes : benzo(a)pyrène (BaP), benzo(b)fluoranthène (BbF), benzo(k)fluoranthène (BkF) et indéno(123-cd)pyrène (IndPy).

Les émissions de chacun des HAP concernés sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie) et notamment à partir de la référence [968] pour le bois.

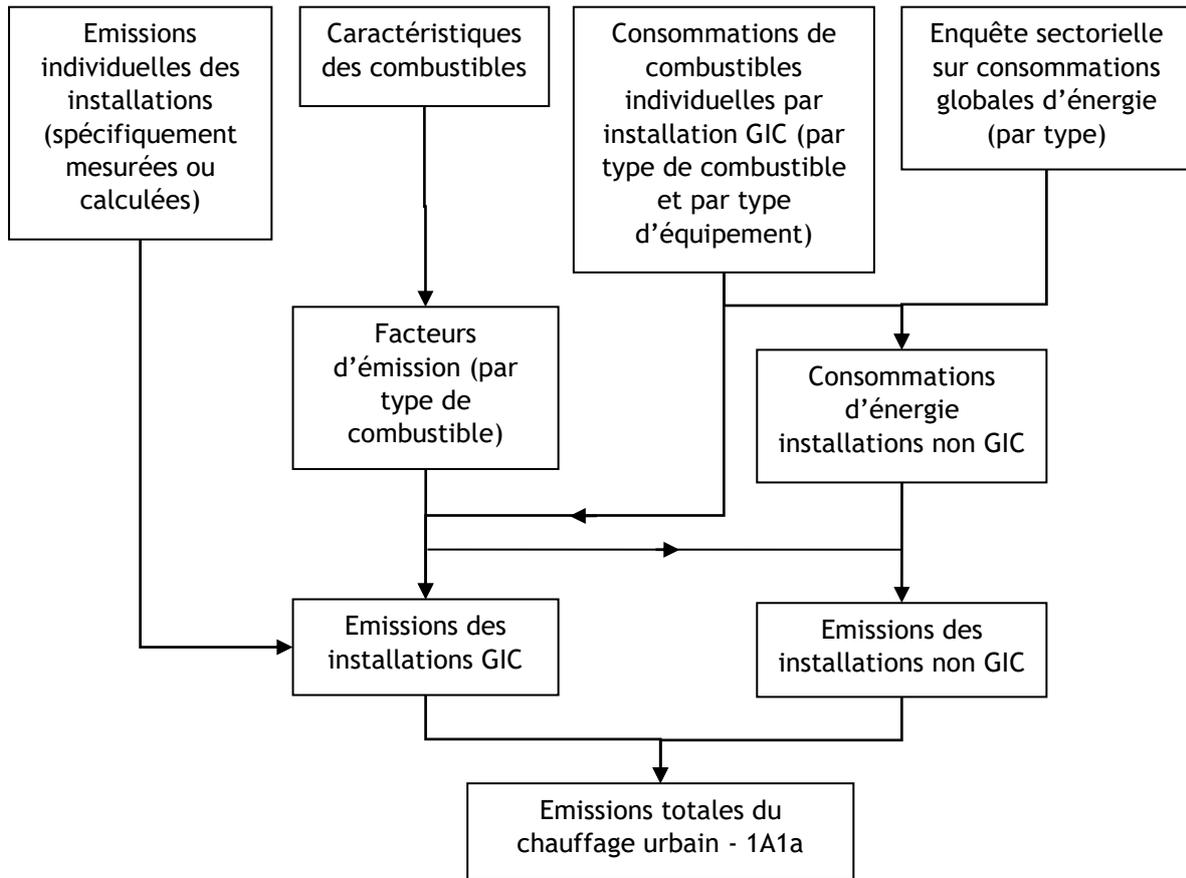
### ***Polychlorobiphényles (PCB)***

Les émissions de PCB sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

### ***Hexachlorobenzène (HCB)***

Les émissions de HCB sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
01/02/2024	NM	14/02/2024	JV

## PRODUCTION CENTRALISEE D'ELECTRICITE

Cette section concerne la production centralisée d'électricité au moyen de combustibles fossiles, de biomasse et de produits valorisés pour leur contenu énergétique.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.1.a
CEE-NU / NFR	1.A.1.a
SNAPc (extension CITEPA)	01.01.01 à 01.01.05
CE / directive IED	1.1 (champ limité aux installations > 50 MW)
CE / E-PRTR	1c (champ limité aux installations > 50 MW)
CE / directive GIC	01.01.01 et 01.01.02 (+01.01.04 à partir de l'inventaire relatif à 2004)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up intégral (toutes les installations sont considérées individuellement)	Le plus souvent spécifiques de chaque installation concernant SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , particules depuis 1990 et CO <sub>2</sub> depuis 2005. Valeurs nationales pour les autres substances

### Niveau de méthode :

Rang 2 ou 3 selon les substances, du fait de la prise en compte de données spécifiques à chaque installation.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [20] EDF - Données internes
- [21] SNET puis EON - Données internes
- [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
- [50] Données communiquées directement par les exploitants au CITEPA

- [62] Citepa - SAMBAT S. & all. - Inventaire des émissions de particules primaires - 2001
- [355] PNUE - Outil spécialisé (Toolkit) pour l'identification et la quantification des rejets de dioxine et furanes, Février 2005
- [380] EURELECTRIC - European Wide Sector Specific Calculation Method for reporting to the European Pollutant Release and Transfer Register, January 2008
- [419] EMEP / EEA Guidebook - Chapter B111, page 55, 2006
- [638] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - section I.8 - table 1- 4 (CO<sub>2</sub>) ; Volume 2 - tables 2.2, 2.3, 2.4 et 2.5 (CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O)
- [936] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.1 Energy industries, tables 3-2 / 3-4 / 3-5 / 3-6 / 3-7 / 3-11 / 3-19, FE TSP et BC
- [968] US EPA - AP 42 - 5<sup>th</sup> edition, Volume 1 - Chapter 1.6: Wood Residue Combustion In Boilers - table 1.6-3
- [1112] Panorama du gaz renouvelable - Publication annuelle - GRDF, GRTgaz, Syndicat des énergies renouvelables, SPEGNN, Teréga

### Caractéristiques de la catégorie :

Caractéristiques pour la Métropole (communes au NIR et à l'IIR)

L'importance du parc électronucléaire de production d'électricité en France métropolitaine, complété par les moyens de production d'électricité d'origine renouvelable ne laisse qu'une relative faible part à la filière thermique à flamme, qui ne contribue à la production d'électricité sur le territoire national qu'à hauteur de 5 à 15%, selon l'année [34].

En Métropole, le nombre de sites concernés tend à rester à peu près stable depuis 1990, autour d'une trentaine. Les sites de la Métropole 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].

Caractéristiques pour l'Outre-mer (NIR)

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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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].

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. La mise en place du système d'échange de quotas SEQE 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 CH<sub>4</sub>**

Les émissions de CH<sub>4</sub> sont déterminées au moyen des facteurs d'émission par défaut du GIEC 2006 [638].

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

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

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions sont déterminées par mesure directe et/ou à partir du bilan soufre établi sur la base des consommations de combustibles et de leur teneur en soufre recensées chaque année [19, 20, 21]. Lorsqu'une valeur manque, la moyenne calculée à partir des installations analogues pour la même année est utilisée. A défaut, la valeur moyenne nationale est employée.

#### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Les émissions sont, le plus souvent, déterminées par mesure directe des émissions [19, 20, 21]. Si ce n'est pas le cas, des facteurs d'émission spécifiques ou des facteurs d'émission nationaux par type d'équipement (voir section générale énergie) sont appliqués.

#### **Emissions de COVNM**

Les émissions sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission. Des réductions sont en général observées au cours du temps [380].

#### **Emissions de CO**

Les émissions sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission tirés du Guidebook EMEP / EEA [419] ou du guidebook de la profession [380].

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les premiers équipements d'installations avec des dispositifs de réduction des émissions de NO<sub>x</sub> du type réduction catalytique sélective (SCR) datent de 2005. Ces dispositifs sont susceptibles de rejeter du NH<sub>3</sub>. Avant cette date, les émissions de NH<sub>3</sub> sont nulles ou si faibles qu'elles sont négligées. Les émissions sont estimées directement à partir des déclarations des industriels [19].

De 2005 à 2007, seuls des moteurs sont équipés. A partir de 2008, les effluents de certaines installations entrant notamment dans la catégorie des Grandes Installations de Combustion (GIC) fonctionnant au charbon sont également traités.

Des fluctuations interannuelles significatives peuvent être observées du fait d'évènements particuliers. Cependant, les émissions de NH<sub>3</sub> de cette catégorie restent marginales.

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Les émissions de poussières totales sont mesurées sur la plupart des installations [19, 50], sinon elles sont déterminées au moyen de facteurs d'émission par défaut [62] pour ce qui est du reste des installations. La variabilité parfois observée pour les années les plus récentes vient, outre l'incertitude élevée sur les mesures, de la plus grande disponibilité de données spécifiques aux installations et d'un moindre recours aux facteurs d'émission par défaut.

Les variations des facteurs d'émission s'expliquent notamment par la prise en compte des résultats de mesures lorsqu'ils sont disponibles à partir de 2004 [19].

### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

La répartition des émissions de particules suivant leur taille provient principalement de travaux menés par les producteurs d'électricité [50].

### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>.

Les ratios retenus sont [936] :

- De 2,2% pour les combustibles solides (hors bois),
- De 3,3% pour la biomasse,
- De 2,5% pour les combustibles gazeux.

Pour les combustibles liquides, les ratios dépendent aussi du type d'équipement :

- Chaudières et turbines : 5,6%,
- Moteurs : 78%.

### **Métaux lourds (ML)**

Les émissions de métaux lourds sont déterminées aux moyens de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible.

Pour la lignite (105), le fioul domestique (204) et le gaz naturel (301), les émissions de l'ensemble des métaux lourds sont déterminées à partir des facteurs d'émission présentés en section générale énergie.

Pour le fioul lourd (203), le coke de pétrole (110, assimilé au fioul lourd) et les charbons (102 et 103), les facteurs d'émission proviennent du guide EURELECTRIC [380].

Pour le charbon, ces facteurs varient au cours du temps en fonction des dispositifs de traitement des émissions de particules mis en place ainsi que de la mise en œuvre de dispositifs visant d'autres substances (comme la SCR, qui aurait un impact très significatif sur la fraction gazeuse du mercure). De ce fait, à partir de 2005, la déclaration annuelle des émissions [19] constitue une référence importante. Les valeurs retenues avant 2005 sont des moyennes uniformément appliquées pour toutes les années. Les évolutions observées avant et à partir de 2005 ne reflètent donc pas nécessairement de véritables différences opérationnelles.

#### ***Dioxines et furanes (PCDD-F)***

Les émissions sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années [355].

#### ***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Au sens de la CEE-NU, les HAP regroupent les quatre substances suivantes : benzo(a)pyrène (BaP), benzo(b)fluoranthène (BbF), benzo(k)fluoranthène (BkF) et indéno(123-cd)pyrène (IndPy). Les 4 HAP suivants sont aussi estimés : fluoranthène (FluorA), benzo(a)anthracène (BaA), dibenz(ah)anthracène (BahA) et benzo(ghi)pérylène (BghiPe).

Les émissions de chacun des HAP concernés sont déterminées à partir de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années (cf. section générale énergie) et notamment à partir de la référence [968] pour le bois.

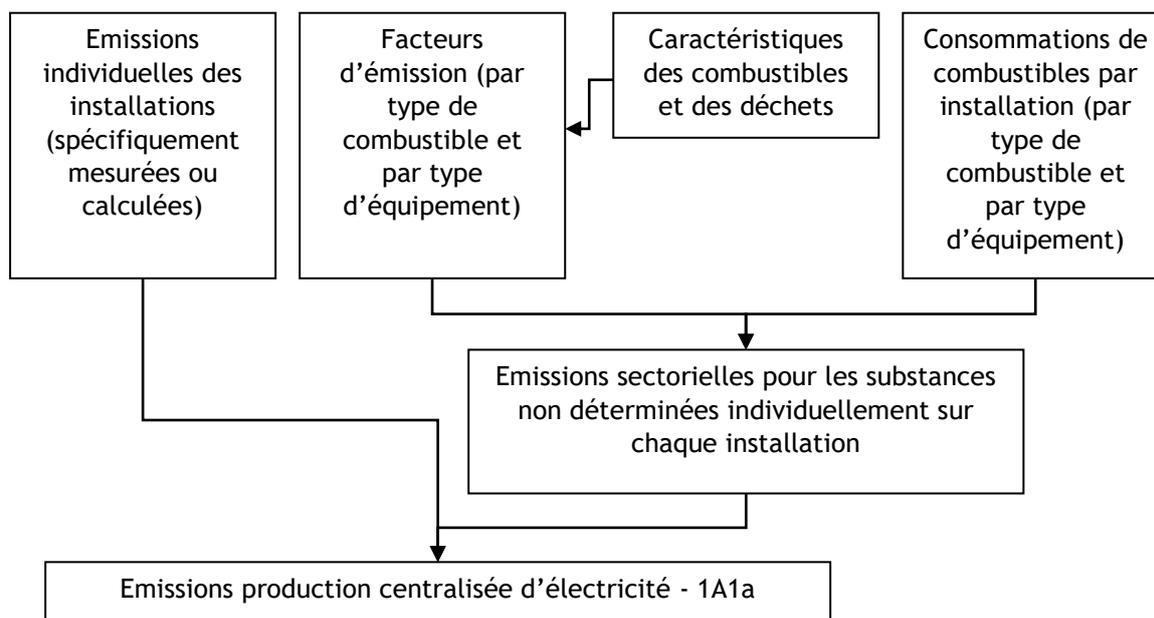
#### ***Polychlorobiphényles (PCB)***

Les émissions de PCB sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années (cf. section générale énergie).

#### ***Hexachlorobenzène (HCB)***

Les émissions de HCB sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années (cf. section générale énergie).

## Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
24/01/2023	BM	28/01/2023	JV

## RAFFINAGE DU PETROLE

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 sont comptabilisées dans la section « 1B2a\_petrol refining » et celles relatives aux torchères « 1B2c\_petrol refining ».

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.1.b
CEE-NU / NFR	1.A.1.b
SNAPc (extension CITEPA)	01.03.01 à 01.03.06
CE / directive IED	1.2
CE / E-PRTR	1a
CE / directive GIC	01.03.01, 01.03.02 et 01.03.06 (partiellement)(+01.03.04 à partir de l'inventaire relatif à 2004)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up intégral (toutes les installations sont considérées individuellement)	Généralement spécifiques de chaque installation considérée individuellement concernant SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , particules et parfois NO <sub>x</sub> . Valeurs nationales par défaut pour les autres cas et les autres substances.

### Niveau de méthode :

Rang 2 ou 3 selon les substances.

### Principales sources d'information utilisées :

- [13] UFIP - Données internes
- [14] CPDP - Pétrole (publication annuelle)
- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [39] Citepa - Inventaire des grandes installations de combustion en application des directives 88/609 et 2001/80/CE
- [47] Ministère de l'Environnement - Enquête raffineries (jusqu'en 1993)
- [50] Données communiquées directement par les exploitants au CITEPA
- [183] Citepa - IER - Study on particulate matter emissions: particle size distribution chemical composition and temporal profiles - Interreg III for ASPA, January 2005

- [355] PNUE - Outil spécialisé (Toolkit) pour l'identification et la quantification des rejets de dioxine et furanes, Février 2005
- [380] EURELECTRIC - European Wide Sector Specific Calculation Method for reporting to the European Pollutant Release and Transfer Register, January 2008
- [397] GIEC - Guidelines 2006, Chapter 2, Pages 2.15 and 2.16, Table 2.2 stationary combustion in the energy industries
- [396] CONCAWE - Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries, 2009
- [446] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2019 - secteur 1A1b - SNAP 010301/010302/010306 - FE NOx - tables 4-2 à 4-6
- [447] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2019 - secteur 1A1b - SNAP 010305 - FE NOx - tables 4-7 et 4-8
- [448] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2019 - secteur 1A1a - SNAP 010304 assimilée à SNAP 010104 et 010105 - FE NOx - tables 3-17 et 3-18
- [449] CONCAWE - Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries - 2009 edition, p 83
- [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)
- [932] 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
- [933] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 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

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Il y a actuellement 10 raffineries déclarant une activité en France dont une située en Martinique (territoire hors PTOM) et une récemment reconvertie en bioraffinerie (site de La Mède, dont la plateforme a vu en 2022 la création du nouveau site de bioraffinage Ecoslops).

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

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

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 2016, la raffinerie de Dunkerque (SRD) n'a pas fonctionné et a définitivement fermé ses portes en Janvier 2017.

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

## Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

### Introduction

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).

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible.

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

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

### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Les émissions sont calculées à partir des facteurs d'émission qui dépendent du combustible et de l'installation. Si l'exploitant propose des facteurs d'émission ou des mesures fiables, ceux-ci sont pris en compte en priorité. Les facteurs d'émission par défaut sont tirés du Concawe [396] et du GIEC [397] pour les fours et les chaudières. Pour les turbines à combustion et les moteurs, les facteurs d'émission proviennent du Concawe [396] et d'un guide méthodologique E-PRTR [676].

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Les émissions de N<sub>2</sub>O sont déterminées au moyen des facteurs d'émission par défaut (cf. section générale énergie).

### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions de ces installations dont la puissance installée est importante sont déterminées par mesure directe et/ou à partir du bilan soufre établi sur la base des consommations de combustibles et de leurs teneurs en soufre recensées chaque année et généralement suivies en continu ou avec une fréquence élevée [19, 50]. Lorsqu'une valeur spécifique manque pour un paramètre donné, la valeur de l'année précédente, une valeur d'une installation analogue ou une valeur par défaut (cf. section générale énergie) est utilisée.

### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Les émissions sont le plus souvent déterminées, soit à partir d'une mesure, soit au moyen de facteurs d'émission tirés de la littérature [446, 447, 448].

### **Emissions de COVNM**

Les émissions liées à la combustion sont en général faibles. Elles sont déterminées au moyen de facteurs d'émission tirés de la littérature [446, 380, 447].

### **Emissions de CO**

Les émissions sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission tirés de la littérature [446, 447, 448].

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables d'autant qu'il n'y a pas actuellement d'installation munie de dispositif d'épuration des NO<sub>x</sub> dont la nature du procédé serait susceptible de rejeter cette substance en quantité significative.

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Pour le gaz naturel (NAPFUE 301), le fuel domestique (NAPFUE 204), le gaz de raffinerie (NAPFUE 308) et le GPL (NAPFUE 303), les valeurs proviennent du Guidebook EMEP / EEA [932].

Afin d'évaluer l'évolution du facteur d'émission du FOL (NAPFUE 203) au cours des années, la méthode suivante est appliquée :

Pour les années récentes (notamment depuis 2004 via les déclarations annuelles des rejets), lorsque les émissions sont déterminées à partir d'une mesure (en continu voire périodique sur la base de plusieurs mesures dans l'année), les émissions par équipement et par combustible (s'il y en a plusieurs) sont recalculées via les facteurs d'émission fixes, puis le solde des émissions est attribué au fioul de raffinerie (NAPFUE 203).

En parallèle (à titre de comparaison ou lorsque l'exploitant ne détermine pas ses émissions par la mesure), les algorithmes définis dans le guide du Concawe 1/09 [449] relatifs aux émissions de PM<sub>10</sub> du FOL sont appliqués. L'algorithme pour les équipements >100 MW est retenu pour les chaudières (algorithme C) et celui relatif aux équipements de 10 à 100 MW est retenu pour les fours (algorithme B).

Ensuite, le choix des FE retenus par site suit l'une des deux règles suivantes :

1) Mesure(s) disponible(s) sur le site :

Les FE calculés à partir des mesures sont systématiquement retenus (applicable à partir de 2004 en général). Pour les années antérieures, une « règle de trois » est appliquée entre le(s) FE FOL « mesure » et le FE FOL « algorithme » pour réaliser la rétropolation jusqu'en 1990 (basée sur les teneurs en soufre) permettant ainsi de prendre en compte la spécificité de l'installation.

2) Aucune mesure disponible sur le site :

Les facteurs calculés à partir du Concawe sont retenus sur toute la période. Il est donc fait l'hypothèse que les émissions de TSP sont équivalentes aux émissions de PM<sub>10</sub> (algorithme du Concawe).

Concernant les moteurs, les facteurs d'émission de TSP utilisés sont les mêmes que pour la production centralisée d'électricité (cf. section sur la production d'électricité).

**Emissions de PM10, PM2,5, PM1,0**

L'hypothèse est émise que les chaudières et les fours de procédés sont équipés à 50% d'électrofiltres et à 50% de filtres à manches. La granulométrie pour le fioul est alors obtenue en appliquant ces distributions aux profils granulométriques présentés dans la section « 1A\_fuel emission factors ». La même granulométrie est appliquée aux bitumes et au GPL.

Pour le gaz naturel, toutes les particules sont considérées comme des PM<sub>1,0</sub>.

Pour le gaz de haut fourneau et le gaz de raffinerie, les données granulométriques proviennent de l'étude ASPA [183].

Concernant les moteurs, la granulométrie utilisée est la même que pour la production centralisée d'électricité (cf. section sur la production d'électricité).

**Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Les ratios retenus dépendent du type de combustible et de l'équipement :

Chaudières/fours :

- 5,6% pour les combustibles liquides,
- 2,5% pour les combustibles gazeux.

Turbines :

- 5,6% pour les combustibles liquides,
- 8,6% pour le gaz naturel.

Moteurs [933] :

- 78% pour les combustibles liquides.

**Métaux lourds (ML)**

Les émissions de l'ensemble des métaux lourds sont déterminées à partir de la consommation de combustibles et des facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

Les émissions de métaux lourds issues du gaz de raffinerie (NAPFUE 308) sont estimées à partir des facteurs d'émission proposés par le CONCAWE [934].

### **Dioxines et furannes (PCDD-F)**

Les émissions de dioxines/furannes sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années. Les facteurs d'émission proviennent de l'étude du PNUE [355].

### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Au sens de la CEE-NU, les HAP regroupent les quatre substances suivantes : benzo(a)pyrène (BaP), benzo(b)fluoranthène (BbF), benzo(k)fluoranthène (BkF) et indéno(123-cd)pyrène (IndPy). Les 4 HAP suivants sont aussi estimés : fluoranthène (FluorA), benzo(a)anthracène (BaA), dibenz(ah)anthracène (BahA) et benzo(ghi)pérylène (BghiPe).

Les émissions de chacun des HAP concernés sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années.

Pour les combustibles usuels (fioul lourd, fioul domestique et gaz naturel), les émissions sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie). Les bitumes sont assimilés au fioul lourd. Le GPL est quant à lui assimilé au gaz naturel. Les facteurs d'émission pour le gaz de raffinerie sont tirés du ConcaWE [677].

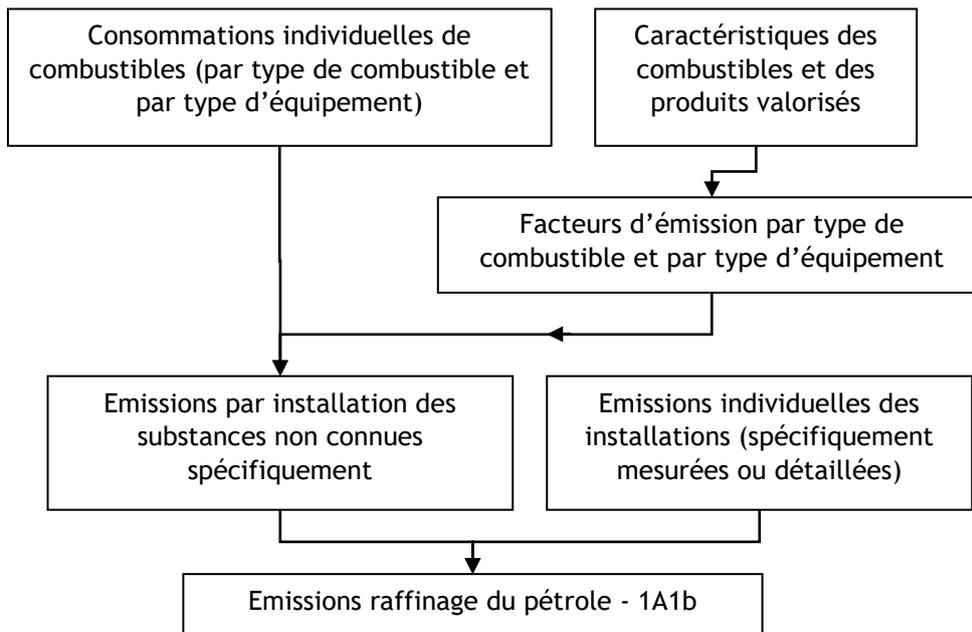
### **Polychlorobiphényles (PCB)**

Les émissions de PCB sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années. (Cf. section générale énergie).

### **Hexachlorobenzène (HCB)**

Les émissions de HCB sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années (cf. section générale énergie).

### **Logigramme du processus d'estimation des émissions.**



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
26/01/2024	BM	13/02/2024	JV

## RAFFINAGE DU GAZ

Cette section concerne la combustion lors du raffinage du gaz ainsi que les activités connexes.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.1.c
CEE-NU / NFR	1.A.1.c
SNAPc (extension CITEPA)	01.05.01 à 01.05.05
CE / directive IED	1.2
CE / E-PRTR	1a
CE / directive GIC	01.05.01 et 01.05.02 (+01.05.04 à partir de l'inventaire relatif à 2004)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up intégral (toutes les installations sont considérées individuellement)	Généralement spécifiques de chaque installation considérée individuellement concernant SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , particules et parfois NOx. Valeurs nationales par défaut pour les autres cas et les autres substances.

### Niveau de méthode :

Rang 2 et 3 selon les substances

### Références utilisées :

[17] EMEP / CORINAIR Guidebook

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[39] CITEPA - Inventaire des grandes installations de combustion en application des directives 88/609 et 2001/80/CE

[50] Données communiquées directement par les exploitants au CITEPA

[355] PNUE - Outil spécialisé (Toolkit) pour l'identification et la quantification des rejets de dioxine et furanes, Février 2005

[681] Emissions of Black carbon and Organic carbon in Norway 1990-2011

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Il n'y a plus de raffinage de gaz en France. La fermeture du dernier site (Lacq) a eu lieu en 2014.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Introduction

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.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> 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 (SEQUE), basées sur des mesures spécifiques. Lorsque, pour une année donnée, l'exploitant ne fournit pas de facteur spécifique pour un ou plusieurs combustibles, la moyenne des facteurs d'émission sur les années renseignées ou la valeur nationale (cf. section générale énergie) est appliquée (notamment avant 2005). Les facteurs d'émission spécifiques à cette activité sont confidentiels (un seul site concerné).

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

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

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

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Les émissions de N<sub>2</sub>O sont déterminées au moyen de facteurs d'émission par défaut (cf. section générale énergie).

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions de cette installation sont déterminées à partir du bilan soufre établi sur la base des consommations de combustibles et de leurs teneurs en soufre recensées chaque année [19, 50].

#### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Les émissions sont déterminées, soit à partir des déclarations annuelles des émissions (à partir de 2002), soit au moyen d'un facteur d'émission par défaut issu du Guidebook EMEP / CORINAIR [17] entre 1990 et 2002.

#### **Emissions de COVNM**

Les émissions sont estimées au moyen de facteurs d'émission spécifiques au site.

#### **Emissions de CO**

Les émissions sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission par défaut pour les chaudières (voir section générale énergie) et d'un facteur d'émission spécifique pour les moteurs fixes.

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables d'autant qu'il n'y a pas actuellement d'installation munie de dispositif d'épuration des NO<sub>x</sub> dont la nature du procédé serait susceptible de rejeter cette substance.

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Les émissions sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission provenant du Guidebook EMEP / CORINAIR [17] pour le gaz naturel (NAPFUE 301).

### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Pour le gaz naturel, toutes les particules sont considérées comme des PM<sub>1</sub>.

### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio provient des références [17] et [681].

Les ratios retenus dépendent de l'équipement pour le gaz naturel :

- Chaudière : 2,5%,
- Moteur : 8,6%.

### **Métaux lourds (ML)**

Les émissions de l'ensemble des métaux lourds sont déterminées à partir de la consommation de combustibles et des facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

### **Dioxines et furannes (PCDD-F)**

Les émissions de l'ensemble des dioxines et furanes sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours du temps (cf. section générale énergie).

### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Au sens de la CEE-NU, les HAP regroupent les quatre substances suivantes : benzo(a)pyrène (BaP), benzo(b)fluoranthène (BbF), benzo(k)fluoranthène (BkF) et indéno(123-cd)pyrène (IndPy). Les 4 HAP suivants sont aussi estimés : fluoranthène (FluorA), benzo(a)anthracène (BaA), dibenz(ah)anthracène (BahA) et benzo(ghi)pérylène (BghiPe).

Les émissions de chacun des HAP concernés sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années (cf. section générale énergie).

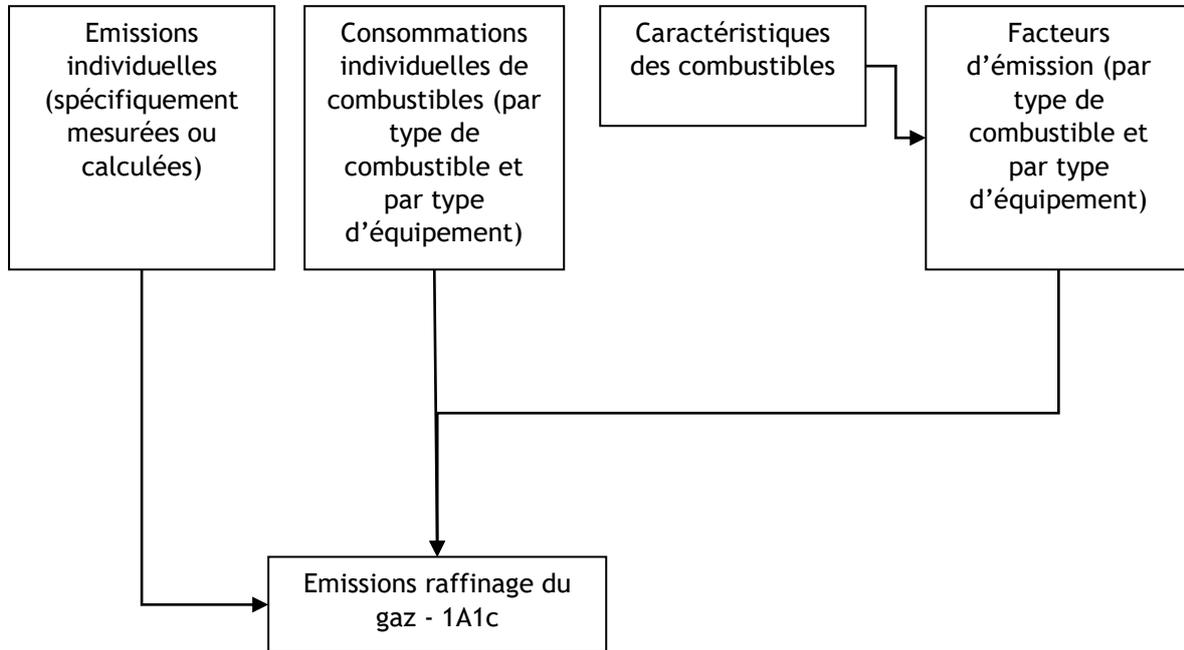
### **Polychlorobiphényles (PCB)**

Pour les combustibles consommés dans les installations de raffinage du gaz, les émissions sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens (cf. section générale énergie).

### Hexachlorobenzène (HCB)

Pour les combustibles consommés dans les installations de raffinage du gaz, les émissions sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens (cf. section générale énergie).

#### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
02/02/2023	CJ	10/02/2023	JV

## TRANSFORMATION DE COMBUSTIBLES MINÉRAUX SOLIDES

Cette section concerne les activités liées à la combustion lors de la transformation des combustibles minéraux solides (essentiellement les mines pour la transformation du charbon, et les cokeries minières ou sidérurgiques pour la production de coke). Elle traite également de la fabrication du charbon de bois.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.1.c
CEE-NU / NFR	1.A.1.c
SNAPc (extension CITEPA)	01.04.01 à 01.04.07
CE / directive IED	1.1 et 1.3
CE / E-PRTR	1c et 1d
CE / directive GIC	01.04.01 et 01.04.02 (+01.04.04 à partir de l'inventaire relatif à 2004)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
<i>Transformation du charbon, cokeries minières et sidérurgiques</i>	
Consommations de combustibles	Valeurs par défaut, sauf cokeries pour lesquelles des valeurs spécifiques sont utilisées.
<i>Production de charbon de bois</i>	
Production nationale (artisanale et industrielle)	Valeurs nationales spécifiques ou valeurs par défaut selon les polluants et le type de procédé.

### Niveau de méthode :

Rang 2/3 du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations.

### Références utilisées :

- [1] SDES (SOeS et anciennement Observatoire de l'Energie) - bilans de l'Energie français (données non corrigées du climat). Communication annuelle
- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [27] Fédération française de l'Acier (FFA) / A3M (Alliance des Minerais, Minéraux et Métaux) - Données internes (jusqu'en 2013)
- [53] SESSI - Bulletin mensuel de statistique industrielle
- [66] EPA - AP42 Compilation of air pollutant emission factors, January 1995

- [70] CITEPA - BOUSCAREN R. - Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et de composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996
- [78] CITEPA - Carbonisation du bois et pollution atmosphérique - Monographie n° 48, 1986
- [346] Determination of atmospheric pollutant emission factors at a small coal-fired heating boiler, AEAT, March 2001
- [413] IPCC - Expert Meetings on Good practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories - Background Papers - Annex I - Table 2 - CH<sub>4</sub> default emission factors, 2000
- [451] EMEP EEA Emission Inventory Guidebook - May 2009, Section 1A4, table 3-28
- [517] Syndicat national du charbon de bois - Données annuelles internes
- [518] Fédération nationale du bois - Données internes à partir de 2009
- [562] EMEP / CORINAIR Guidebook 1999, section B146-11 coke oven furnaces, table 8-2
- [638] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - section I.8 - table 1-4 (CO<sub>2</sub>); Volume 2 - tables 2.2, 2.3, 2.4 et 2.5 (CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O)
- [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
- [761] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 1.A.2 Manufacturing industries and construction (combustion), tables 3-2 à 3-5
- [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
- [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
- [1061] Enquête annuelle de production dans l'industrie PRODFRA : production de charbon de bois (y compris charbon de coques ou de noix), même aggloméré

#### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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

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

Il n'existe plus de cokerie minière en France depuis fin 2009. Trois cokeries sidérurgiques (i.e. au sein des sites intégrés de fabrication d'acier) existaient jusqu'en mai 2020 en France. A partir de 2021, seules deux cokeries sidérurgiques sont recensées.

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

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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].

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

*Pour la transformation du charbon*, les émissions de CO<sub>2</sub> 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]. 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. Le facteur d'émission est tiré des teneurs en carbone moyennes (sur 2011-2008) de chaque combustible [27].

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

Concernant la fabrication du charbon de bois, le facteur d'émission provenant de l'USEPA est pris par défaut [66]. Ces émissions sont assimilées à du CO<sub>2</sub> biomasse et ne sont donc pas comptabilisées dans le total national.

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Pour la transformation du charbon, les émissions de CH<sub>4</sub> sont déterminées au moyen des consommations [1] et des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible issus du GIEC 2006 [638].

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

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

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

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Pour la transformation du charbon, les émissions de N<sub>2</sub>O sont déterminées au moyen des consommations [1] et des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible issus du GIEC 2006 [638].

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

Pour la fabrication de charbon de bois, les émissions de N<sub>2</sub>O sont estimées à partir de facteurs d'émission issus du GIEC 2006 [638].

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Pas d'émission attendue.

### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Pour la transformation du charbon, les émissions de SO<sub>2</sub> sont déterminées au moyen des consommations [1] et des facteurs nationaux pour chaque combustible (cf. section générale énergie).

Pour les cokeries minières et sidérurgiques, les émissions de SO<sub>2</sub> sont déterminées à partir des déclarations annuelles [19, 27] à partir de 2004. La fédération professionnelle a transmis des facteurs d'émission de 1999 à 2001 [27]. Le FE est interpolé entre 2001 et 2004. Avant 1999, les facteurs nationaux sont utilisés (cf. section générale énergie).

Pour les installations de fabrication de charbon de bois, le facteur d'émission est déterminé en fonction des caractéristiques physiques du bois (cf. section générale énergie).

### **Emissions de NOx**

*Pour la transformation du charbon*, les émissions de NOx sont déterminées au moyen des consommations [1] et des facteurs nationaux pour chaque combustible (cf. section générale énergie).

*Pour les cokeries minières et sidérurgiques*, les émissions de NOx sont déterminées à partir des déclarations annuelles [19, 27] à partir de 2004. La fédération professionnelle a transmis des facteurs d'émission de 1999 à 2001 [27]. Le FE est interpolé entre 2001 et 2004. Avant 2004, les facteurs nationaux sont utilisés (cf. section générale énergie).

*Pour la fabrication du charbon de bois*, le facteur d'émission provient de l'US EPA [66].

### **Emissions de COVNM**

*Pour la transformation du charbon*, les émissions de COVNM sont déterminées au moyen des consommations [1] et des facteurs nationaux pour chaque combustible (cf. section générale énergie).

*Pour les cokeries minières et sidérurgiques*, les émissions de COVNM sont déterminées au moyen des consommations [19][27] et des facteurs nationaux pour chaque combustible (cf. section générale énergie).

*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 CO**

*Pour la transformation du charbon*, les émissions de CO sont déterminées au moyen des consommations [1] et des facteurs nationaux pour chaque combustible (cf. section générale énergie).

*Pour les cokeries minières et sidérurgiques*, les émissions de CO sont déterminées au moyen des consommations [19][27] et des facteurs nationaux pour chaque combustible (cf. section générale énergie).

*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 NH3**

Pas d'émission attendue.

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

*Pour la transformation du charbon*, les émissions de TSP sont déterminées au moyen des consommations [1] et des facteurs nationaux pour chaque combustible (cf. section générale énergie).

*Pour les cokeries minières et sidérurgiques*, les émissions de TSP sont déterminées au moyen des consommations [19][27] et des facteurs nationaux pour chaque combustible (cf. section générale énergie).

Les facteurs d'émission liés à la production artisanale et industrielle de charbon de bois (pour les procédés de carbonisation et de stockage / manutention) 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 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Les facteurs d'émission des PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>1,0</sub> des installations de *transformation de combustibles solides* sont assimilés à ceux des chaudières de l'industrie d'une puissance inférieure à 50 MW et proviennent de l'USEPA [66], avec l'hypothèse d'un panel d'équipements de filtration constitué de 1/2 de cyclones, 1/10 d'électrofiltres, 1/10 de filtres à manches, d'1/20 de laveurs et de 1/4 sans dépoussiéreurs.

Pour les cokeries minières et sidérurgiques, la granulométrie est fournie par la profession sur la base de mesures effectuées sur les installations [27]. A partir de l'année 2021, les émissions de PM<sub>10</sub> déclarées par les deux cokeries sidérurgiques restantes sont directement considérées pour l'estimation des émissions de PM<sub>10</sub> des cokeries sidérurgiques.

Pour déterminer les facteurs d'émission pour les installations de fabrication du charbon de bois, la même méthodologie que celle employée pour la transformation de combustibles solides est appliquée, à la différence près que les facteurs d'émission sont ajustés en fonction du type de fabrication : industriel ou artisanal. 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 carbone suie / black carbon (BC)**

Pour la transformation du charbon, les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio est assimilé à celui de la catégorie 1.A.1 et provient du Guidebook EMEP/EEA sur les inventaires d'émissions de polluants [764].

Pour les cokeries minières et sidérurgiques, les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio est assimilé à celui de la catégorie 1.A.1 pour les combustibles liquides et provient du Guidebook EMEP/EEA sur les inventaires d'émissions de polluants [768]. Pour le charbon et les combustibles gazeux, les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>, ce ratio est assimilé à celui de la catégorie 1.A.2 et provient du Guidebook EMEP/EEA sur les inventaires d'émissions de polluants ([761] et [756] respectivement).

Pour la production de charbon de bois, les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio est égal à 3,3% des PM<sub>2,5</sub> et provient du Guidebook EMEP/EEA sur les inventaires d'émissions de polluants [764].

### **Métaux lourds (ML)**

Pour la transformation du charbon et les cokeries minières et sidérurgiques, les émissions de métaux lourds sont déterminées au moyen des consommations [1][19][27] et des facteurs nationaux pour chaque combustible (cf. section générale énergie). A partir de 2007, il n'y a plus de consommation de charbon à coke dans les cokeries minières, qui ont stoppé leur activité en 2009. Cela explique la baisse des émissions de métaux lourds dès 2007. Pour la consommation de gaz sidérurgiques, pour lesquels il n'existe pas de facteurs d'émission nationaux de métaux lourds, ni de valeurs par défaut spécifiques aux gaz sidérurgiques dans le guide EMEP/EEA 2019, les facteurs d'émission des métaux lourds du gaz naturel sont appliqués aux gaz sidérurgiques (gaz de cokerie, gaz de haut-fourneau, gaz d'aciérie).

Il n'y a pas d'émission estimée pour la fabrication de charbon de bois.

***Dioxines et furannes (PCDD-F)***

*Pour les cokeries et les installations de transformation des combustibles solides, les émissions de dioxines et furannes sont estimées à partir des facteurs d'émission par défaut par combustible (cf. section générale énergie).*

Il n'y a pas d'émission estimée pour la fabrication de charbon de bois.

***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

*Pour les cokeries et les installations de transformation des combustibles solides, les facteurs d'émission des HAP sont tirés d'une étude du CITEPA [78].*

Pour la fabrication artisanale de charbon de bois, les facteurs d'émission des HAP proviennent de la même référence [78]. Il est à noter qu'il n'y a pas d'émission de HAP considérée dans le cas de la production industrielle de charbon de bois [78].

***Polychlorobiphényles (PCB)***

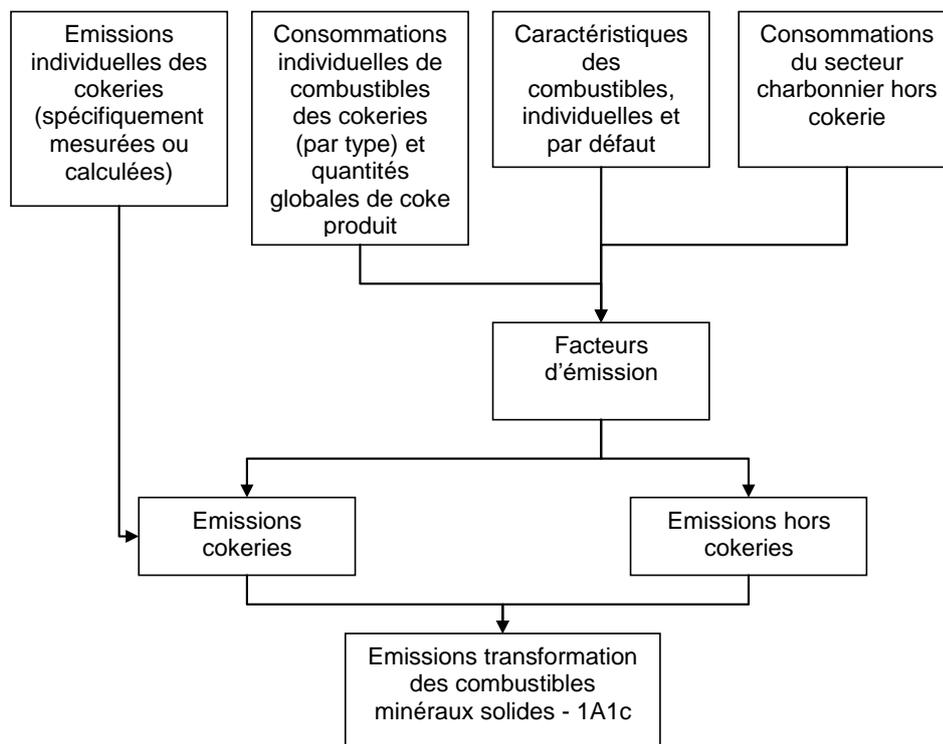
*Pour les cokeries et les installations de transformation des combustibles solides, les émissions de PCB sont estimées à partir des facteurs d'émission par défaut par combustible (cf. section générale énergie).*

*En ce qui concerne la fabrication du charbon de bois, le facteur d'émission des PCB pour le bois est tiré d'une étude de l'AEAT [346], puis il est affecté du ratio énergétique correspondant en GJ/Mg de charbon de bois produit. Il est considéré constant au cours des années.*

***Hexachlorobenzène (HCB)***

Pas d'émission notable attendue.

## Logigrammes du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
11/01/2024	VM	14/02/2024	JV

## INCINERATION DE DECHETS NON DANGEREUX

Cette section se rapporte aux installations d'incinération de déchets non dangereux.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	5.C.1 (sans récupération d'énergie) / 1A1a (avec récupération d'énergie)
CEE-NU / NFR	5.C.1 .a (sans récupération d'énergie) / 1A1a (avec récupération d'énergie)
SNAPc (extension CITEPA)	09.02.01
CE / directive IED	5.2 (partiellement)
CE / E-PRTR	5.b (partiellement)
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up intégral (toutes les installations sont considérées individuellement)	Le plus souvent spécifiques du secteur voire de chaque installation concernant SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , particules, métaux lourds et PCDD-F. Valeurs nationales pour les autres substances y compris CO <sub>2</sub> .

### Niveau de méthode :

Rang 2+ pour les polluants (selon les substances (c'est-à-dire la spécificité des facteurs d'émission de chaque installation et leur poids dans l'ensemble du secteur)).

Rang 2a : pour les GES

### Références utilisées :

Principales sources d'information utilisées :

- [10] Ministère de l'Environnement - Données internes
- [17] EMEP / CORINAIR Guidebook
- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [32] ADEME - Inventaire des installations de traitement des déchets (enquête périodique ITOM)
- [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

- [68] OFEFP - Mesures pour la réduction des émissions de PM10. Document environnement n° 136, juin 2001
- [70] CITEPA - BOUSCAREN R. - Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et de composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996
- [183] CITEPA - IER - Study on particulate matter emissions: particle size distribution chemical composition and temporal profiles - Interreg III for ASPA, January 2005
- [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
- [310] FNADE - Compte rendu du groupe de travail EPER sur l'incinération, juin 2006
- [335] ADEME - Second état d'avancement de la mise en conformité des UIOM, 2005
- [368] ADEME - Campagnes MODECOM (1993, 2007, 2017)
- [569] EMEP/EEA 2023 - Industrial waste incineration including hazardous waste and sewage sludge (page 10, 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
- [617] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 5, chapitre 2, table 2.4
- [618] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 2, chapitre 5.4.1, table 5.2
- [619] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 5, chapitre 5, table 5.3
- [743] GIEC - Lignes Directrices 2006, Volume 5, chapitre 5, paragraphe 5.2.1.1, équation 5.2

#### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Environ 120 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, deux sont sans récupération d'énergie, et traitent près de 50 000 tonnes de déchets incinérés [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].

#### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Données d'activité

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

nécessaires à l'inventaire national (essentiellement les quantités traitées par type de déchets pour chaque installation) sont obtenues sous forme d'une base de données auprès de l'ADEME.

Les résultats de l'enquête ITOM font en outre l'objet d'un rapport public tous les deux ans. La dernière édition a été publiée en 2022 et concerne les données de l'année 2020. Ces données sont utilisées pour les périmètres métropolitain et ultramarins (DROM et COM).

Règle de rapportage

La distinction entre « avec » ou « sans » récupération d'énergie se fait selon la classification effectuée par l'ADEME dans le cadre des enquêtes ITOM [32], c'est-à-dire sans prendre en compte le rendement énergétique de l'incinérateur.

Les émissions de CO<sub>2</sub> issues de la part organique des déchets est comptabilisée hors totale.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

Emissions de CO<sub>2</sub>

Les émissions de CO<sub>2</sub> 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 (FCF).

$$CO_2 \text{ Emissions} = MSW * \sum_i (WF_i * dm_i * CF_i * FCF_i * OF_i) * 44/12$$

Où :

CO<sub>2</sub> Emissions = émissions de CO<sub>2</sub>, Gg/an

MSW = quantité totale de déchets solides municipaux (poids humide) incinérés, Gg/an

WF<sub>i</sub> = fraction du type de déchets/ composant i dans les MSW (poids humide) incinéré, avec  $\sum WF_i = 1$ ,

dm<sub>i</sub> = teneur en matière sèche des MSW (poids humide) incinérés, (fraction)

CF<sub>i</sub> = fraction de carbone dans la matière sèche (teneur totale en carbone), (fraction)

FCF<sub>i</sub> = fraction de carbone fossile dans le carbone total, (fraction)

OF<sub>i</sub> = facteur d'oxydation, (fraction)

44/12 = facteur de conversion du C en CO<sub>2</sub>

i = composants des MSW incinérés tels que le papier/carton, les textiles, les déchets alimentaires, le bois, les déchets de jardin (cour) et de parc, les couches jetables, le caoutchouc et le cuir, les plastiques, le métal, le verre, les autres déchets inertes.

La composition des déchets incinérés selon les catégories nécessaires à l'application de la méthodologie du GIEC (déchets alimentaires, déchets verts, papier/carton, bois, textiles, textiles sanitaires et incombustibles) est estimée sur la base, d'une part, d'enquêtes de caractérisation des déchets ménagers (dites MODECOM [368]), d'enquêtes de caractérisation des déchets industriels selon l'activité, la nature des déchets et le type de traitement [733] et, d'autre part, d'enquêtes bisannuelles caractérisant les déchets incinérés (pour les territoires métropolitain et ultramarins) réalisées par l'ADEME [32].

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<sub>4</sub>

Le facteur d'émission de CH<sub>4</sub> 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<sub>4</sub> / Gg de déchets [619].

Pour une technologie à lits fluidisés, le facteur d'émission du CH<sub>4</sub> 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 / Mg de déchets pour les territoires métropolitain et ultramarins.

#### Emissions de N<sub>2</sub>O

Le facteur d'émission du N<sub>2</sub>O est calculé sur la base des déclarations annuelles des sites sur la plateforme GERP à partir de 2004 (pour les sites métropolitain et ultramarins). 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.

g/Mg	1990	2000	2010	2020
N <sub>2</sub> O	98,4	98,4	58,7	24,3

*Facteurs d'émission de N<sub>2</sub>O associés à l'incinération de déchets ménagers (g N<sub>2</sub>O/Mg de déchets)*

#### Emissions de Gaz fluorés

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances.

#### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

##### Emissions de SO<sub>2</sub>

Un facteur d'émission moyen est déterminé à partir des déclarations annuelles des émissions de 1994 et depuis 2000 (pour les sites métropolitain et ultramarins) [19] (déclaration sans seuil). L'estimation réalisée par les industriels s'appuie généralement sur les valeurs réglementairement mesurées en continu sur les cheminées. Le facteur d'émission de 1994 est appliqué aux années antérieures. Les années intermédiaires sont interpolées.

g/Mg	1990	2000	2010	2020
SO <sub>x</sub>	907,4	341,7	58,06	66,71

*Facteurs d'émission de SO<sub>2</sub> associés à l'incinération de déchets ménagers (g SO<sub>2</sub>/Mg de déchets)*

Emissions de NO<sub>x</sub>

Un facteur d'émission moyen est déterminé à partir des déclarations annuelles des émissions de 1994 et depuis 2000 (pour les sites métropolitain et ultramarins) [19] (déclaration sans seuil). L'estimation réalisée par les industriels s'appuie généralement sur les valeurs réglementairement mesurées en continu sur les cheminées. Le facteur d'émission de 1994 est appliqué aux années antérieures. Le facteur d'émission de 1994 est appliqué aux années antérieures. Les années intermédiaires sont interpolées.

g/Mg	1990	2000	2010	2020
NO <sub>x</sub>	1 597	1 532	630	536

*Facteurs d'émission de NO<sub>x</sub> associés à l'incinération de déchets ménagers (g NO<sub>x</sub>/Mg de déchets)*

Emissions de COVNM

Un facteur d'émission moyen est déterminé à partir des déclarations annuelles des émissions de 1994 et depuis 2000 (pour les sites métropolitain et ultramarins) [19] (déclaration sans seuil). Le facteur d'émission de 1994 est appliqué aux années antérieures. Le facteur d'émission de 1994 est appliqué aux années antérieures. Les années intermédiaires sont interpolées.

g/Mg	1990	2000	2010	2020
COVNM	120,12	50,03	5,77	4,46

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

Emissions de CO

Les émissions jusqu'à 1994 sont déterminées au moyen d'un facteur d'émission de 700 g / t déchets issu du Guidebook EMEP [17]. Entre 1994 et 2004 les émissions sont interpolées. Depuis 2004, le facteur d'émission du CO est calculé à partir des déclarations annuelles des sites (pour les sites métropolitain et ultramarins).

g/Mg	1990	2000	2010	2020
CO	700,00	340,25	53,23	56,09

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

Emissions de NH<sub>3</sub>

Les installations équipées d'équipement de réduction des émissions d'oxydes d'azote (De-NOx) de type SCR et SNCR sont émetteurs de NH<sub>3</sub>. Le premier DeNOx (de type SCR) a été installé en 1998. Le facteur d'émission de NH<sub>3</sub> retenu pour les années antérieures à 1998 est nul.

Le facteur d'émission est établi à partir du facteur d'émission déterminé par la FNADE [310] pour une installation équipée d'un système De-NOx SCR ou SNCR (11 g NH<sub>3</sub> / tonne déchets incinérée), ramené au rapport de la quantité de déchets incinérés avec De-NOx à la quantité totale de déchets incinérés dans des installations sans récupération d'énergie. Les investigations menées par le Citepa amènent à considérer qu'en 2013 environ 5% des déchets non dangereux traités en UIDND sont incinérés dans une installation qui ne comporte pas de traitement des NOx.

g/Mg	1990	2000	2010	2020
NH <sub>3</sub>	0	1,53	14,21	13,72

*Facteurs d'émission de NH<sub>3</sub> associés à l'incinération de déchets ménagers (g NH<sub>3</sub>/Mg de déchets)*

Emissions de poussières totales en suspension (TSP)

Les émissions sont déterminées au moyen d'un facteur d'émission de 350 g TSP / t OM provenant de la référence [42] pour les années 1990 à 1994. Ce facteur d'émission est basé sur une extrapolation de la teneur en plomb, zinc et cadmium dans les émissions particulaires. A partir de 1999, les déclarations annuelles des rejets sont compilées pour en déduire un facteur d'émission annuel moyen (pour les sites métropolitain et ultramarins) [19] (déclaration sans seuil). L'estimation réalisée par les industriels s'appuie généralement sur les valeurs réglementairement mesurées en continu sur les cheminées. De 1994 à 1998, les facteurs d'émission sont interpolés.

g/Mg	1990	2000	2010	2020
NH <sub>3</sub>	350,0	215,4	8,37	7,27

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

Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>

Seules les émissions de particules de diamètre inférieur à 10 µm sont déterminées en utilisant la granulométrie tirée de la référence [68].

tranche granulométrique	% répartition des TSP totales
PM <sub>10</sub>	95
PM <sub>2,5</sub>	78
PM <sub>1</sub>	(nd)

(nd) : non disponible

Emissions de carbone suie / black carbon (BC)

La part du BC dans les émissions de PM<sub>2,5</sub> est de 3,5% selon le guide EMEP/EEA [569].

Métaux lourds (ML)

De 1990 à 2001, le facteur d'émission est calculé sur la base de données fournies par les industriels [45] et d'un taux de mise en conformité des incinérateurs. A partir de 2004, le facteur d'émission est calculé sur la base des déclarations annuelles des industriels (pour les sites métropolitain et ultramarins) [19]. Entre ces deux années, il est procédé à une interpolation linéaire.

mg/Mg	1990	2000	2010	2020
As	77,32	40,02	26,17	1,37
Cd	604,00	364,65	16,42	11,22
Cr	349,33	151,86	82,89	33,83
Cu	1 251,2	1 181,1	62,60	79,68
Hg	972,67	343,90	42,56	26,35
Ni	875,58	234,57	35,81	44,68
Pb	8 804,1	6 512,2	91,56	60,78
Zn	15 660	4 873,7	588,75	670,63

*Facteurs d'émission de métaux lourds associés à l'incinération de déchets ménagers (mg ML/Mg de déchets)*

Dioxines et furannes (PCDD-F)

Avant 2003, une distinction est faite entre les incinérateurs conformes et les non conformes ainsi qu'entre les incinérateurs dont la capacité est inférieure ou supérieure à 6 t/h. Le facteur de chacune de ces catégories est déterminé sur la base de données figurant dans le rapport de l'INERIS [280] jusqu'en 1997 et sur la base de données fournies par le Ministère chargé de l'environnement de 1998 à 2003 [279]. Le facteur d'émission moyen est déduit de ces facteurs d'émission unitaires et d'un taux de mise en conformité des incinérateurs.

A partir de 2004, le facteur d'émission est estimé sur la base des déclarations annuelles des industriels (pour les sites métropolitain et ultramarins) [19] (déclaration sans seuil). L'estimation réalisée par les industriels s'appuie généralement sur les valeurs réglementairement mesurées en semi-continu sur les cheminées.

Le facteur d'émission évolue donc chaque année et reflète les évolutions technologiques.

Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Une distinction est faite entre les incinérateurs conformes et les non conformes ainsi qu'entre les incinérateurs dont la capacité est inférieure ou supérieure à 6 t/h. Le facteur de chacune de ces catégories est déterminé sur la base de données figurant dans le rapport TOCOEN [281] et dans le rapport de R. Bouscaren [70]. Le facteur d'émission moyen est déduit de ces facteurs d'émission unitaires et d'un taux de mise en conformité des incinérateurs.

Polychlorobiphényles (PCB)

En ce qui concerne les PCB, en l'absence d'autres informations, une donnée issue de EMEP/CORINAIR [17] est utilisée pour l'année 1990. Pour les autres années, on applique à ce facteur d'émission l'évolution du facteur d'émission des dioxines et furannes.

#### Hexachlorobenzène (HCB)

Une distinction est faite entre les incinérateurs conformes et les non conformes. Le facteur d'émission de chacune de ces 2 catégories est issu du rapport de R. Bouscaren [70]. Le facteur d'émission moyen est déduit de ces facteurs d'émission unitaires et d'un taux de mise en conformité des incinérateurs (100% depuis 2006).

## Combustion dans l'industrie

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
08/01/2024	GB	14/02/2024	JV

## INDUSTRIE MANUFACTURIERE (COMBUSTION)

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. Auquel cas, pour éviter une répétition inutile, les éléments correspondants sont fournis dans la présente section.

Cependant, les phénomènes éventuellement concomitants responsables d'émissions des mêmes substances ou d'autres substances sont traités dans d'autres sections (par exemple le CO<sub>2</sub> 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.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.2.a à 1.A.2.g
CEE-NU / NFR	1.A.2.a à 1.A.2.g.viii
SNAPc (extension Citepa)	030101 à 030106, 030203 à 030205, 030301 à 030326, 080801 à 080802
CE / directive IED	1.1 (champ limité aux installations > 50 MW) quel que soit le secteur d'activité
CE / E-PRTR	1c (champ limité aux installations > 50 MW) quel que soit le secteur d'activité
CE / directive GIC	030101, 030102 (+ 030104 sous GIC à partir de l'inventaire relatif à 2004)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Top-down en général mais recoupements partiels par Bottom-up pour les installations de puissance $\geq 50$ MW et les installations soumises au SEQE (puissance $\geq 20$ MW, fours, etc.)	Le plus souvent valeurs nationales notamment CO <sub>2</sub> , mais spécifiques pour certaines installations concernant SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , particules principalement

### Niveau de méthode :

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).

### Références utilisées :

- [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
- [14] CPDP - Pétrole (publication annuelle)
- [17] EMEP / CORINAIR Guidebook
- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [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 - Données internes
- [28] ATILH - Statistiques énergétiques annuelles de la profession cimentière
- [39] Citepa - Inventaire des grandes installations de combustion en application des directives 88/609 et 2001/80/CE
- [64] USIRF - Données internes à la profession relatives à la production d'enrobé routier
- [67] Citepa - ALLEMAND N. - Estimation des émissions de polluants liées à la combustion du bois en France. Mars 2003
- [414] EMEP/EEA - Emission Inventory Guidebook, Part B111(S1)-6, December 2006
- [459] EMEP / EEA Guidebook - Mai 2009 - Sections « 1A1 Energy industries » et « 1A4ai, 1A4bi, 1A4ci, 1A5a Small combustion »
- [624] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 3, Combustion mobile, Tables 3.3.1 et 3.2.2
- [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, FE NO<sub>x</sub>, TSP, CO et COVNM
- [968] US EPA - AP 42 - 5th edition, Volume 1 - Chapter 1.6: Wood Residue Combustion In Boilers - table 1.6-3
- [1004] Note de l'ADEME - Proposition d'évolution des facteurs d'émission 1 à 20MW. 18/03/2019

[1212] Cortea Acibioqa - Amélioration des connaissances en matière d'impact des chaufferies biomasse sur la qualité de l'air, ADEME

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Du point de vue de la structure énergétique, une distinction est faite selon les types de combustibles utilisés. Globalement, la tendance est à une augmentation des consommations de gaz naturel et de biomasse au détriment des combustibles liquides et solides.

Les principaux combustibles solides consommés sont les gaz sidérurgiques, le charbon, le lignite, et le coke.

Les principaux combustibles liquides consommés sont le fioul lourd, le GPL, le fioul domestique et diesel, le coke de pétrole et les autres produits pétroliers. Depuis 2011, la réglementation sur les engins mobiles non routiers impose de consommer du gazole non routier (diesel) à la place du fioul domestique.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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 :

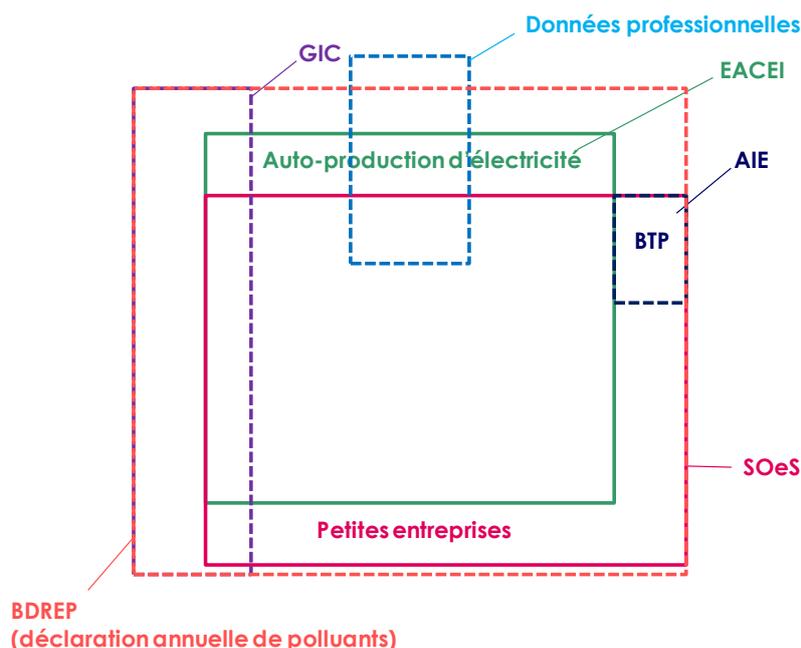
- Le bilan de l'énergie du SDES [1], qui couvre l'ensemble de l'industrie y compris l'industrie du bâtiment et des travaux publics (BTP) et la production du tabac, quelle que soit la taille de l'entreprise. Cette statistique propose une répartition des consommations selon les différents sous-secteurs 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 (sites 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 et d'EMEP.
- L'enquête annuelle des consommations d'énergie dans l'industrie [26] qui couvre l'autoproduction d'énergie et la consommation de combustibles tels que biomasse et déchets depuis 2006. Le BTP et l'industrie du tabac ne sont pas inclus dans le champ qui se limite en outre aux entreprises de plus de 20 salariés (10 salariés pour

les industries agro-alimentaires). En règle générale, plus de 15 000 établissements sont enquêtés chaque année dont tous les gros consommateurs d'énergie.

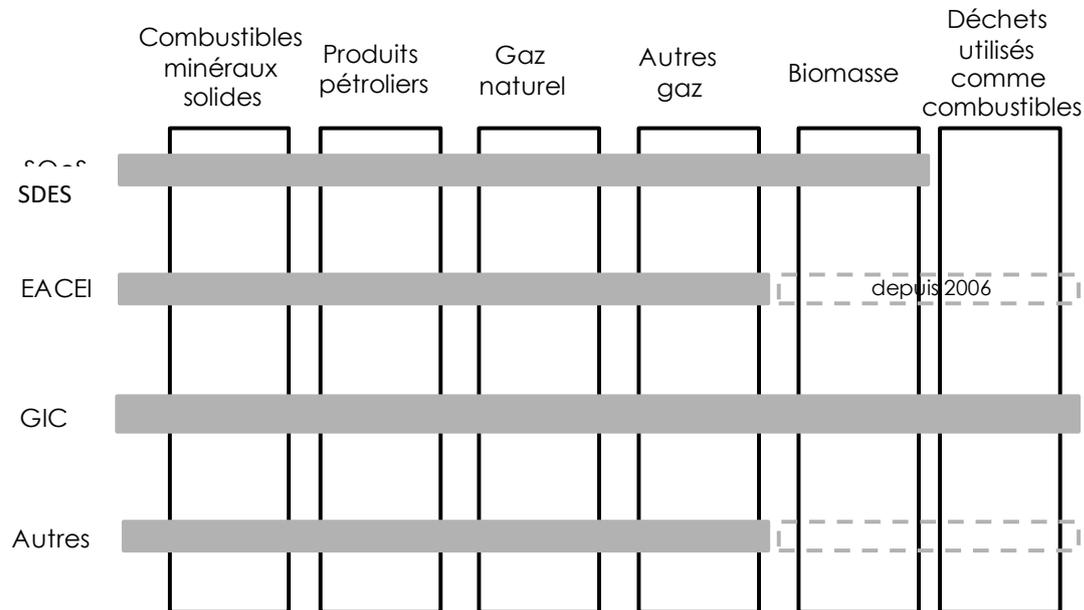
- L'inventaire des Grandes Installations de Combustion (GIC) [39] dans lequel les données sont disponibles par combustible pour les installations de plus de 50 MW.
- Les données relatives aux déclarations annuelles des rejets de polluants [19] qui comportent des informations relatives aux différents combustibles consommés et à leurs caractéristiques pour chaque installation.
- Les données statistiques publiques ou internes produites par certains secteurs tels que la sidérurgie [27], la production de ciment [28] et la production d'enrobage routier [64].
- Les données relatives à l'Outre-mer fournies par le CPDP [14] et les observatoires régionaux (cf. section générale énergie).
- Les données relatives aux installations soumises au système d'échange de quotas d'émissions (SEQE) : les déclarations annuelles de rejets [19] fournissent les consommations de combustibles particuliers non prises en compte dans les statistiques nationales, et qui sont donc à ajouter au bilan national. Les données SEQE permettent par ailleurs d'effectuer un contrôle de cohérence et vérifier que les émissions totales d'un secteur SEQE ne dépassent pas les émissions du secteur correspondant dans l'inventaire.

Les différences entre les champs des diverses sources sont illustrées par les figures ci-après respectivement en ce qui concerne la couverture sectorielle et la couverture des combustibles.

### 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 :

## 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 <sup>12</sup>	NCE E35
Food processing, beverages and tobacco	10, 11 et 12	10, 11 et 12	10, 11 et 12	Industries agro-alimentaires	NCE E12 à E14
Non-metallic minerals	23	23	23	Minéraux non métalliques	NCE E19 à 22
Other	13 à 16, 26 à 32	13 à 16, 26 à 32	13 à 16, 26 à 32	Equipements et matériels de transports	NCE E30 à 33
				Divers industrie	NCE E15, E34, E36 à E38

Pour des raisons de confidentialité statistique, l'EACEI ne couvre pas l'industrie du tabac qui se retrouve de facto répartie sur l'ensemble des secteurs et pas nécessairement dans le secteur de l'industrie agro-alimentaire.

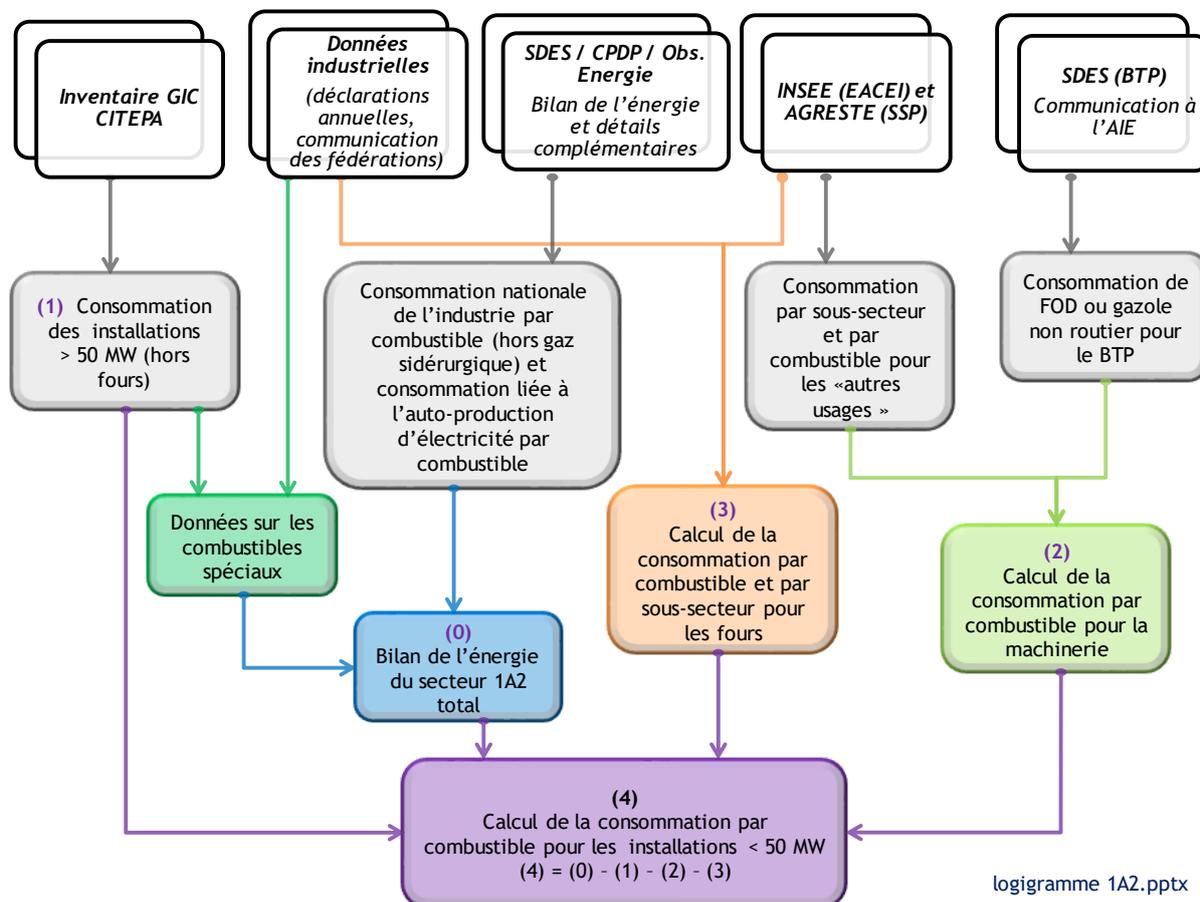
Le logigramme ci-après décrit les différentes phases de traitement de l'information qui aboutissent :

- d'une part, à déterminer les consommations de combustibles fossiles, de biomasse et de déchets valorisés dans des installations de combustion hors incinération pour les différents secteurs de l'industrie,
- d'autre part, à déterminer les consommations des mêmes combustibles pour les catégories SNAP relatives à la combustion sous chaudières (SNAP 0301XX), dans des

<sup>12</sup> y compris Imprimerie.

fours sans contact (SNAP 0302xx) et avec contact<sup>13</sup> (SNAP 0303xx) qui servent de données d'activité.

### Logigramme du processus d'estimation des consommations d'énergie en France



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

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

Les consommations d'énergie relatives à tous ces sous-ensembles représentent une grande quantité de données gérée par des bases de données qui ne peut être fournie ici. Un récapitulatif plus détaillé par type de combustible est présenté en annexe 13 pour quelques années à partir de 1990.

Les équipements tels que les turbines à gaz, les moteurs fixes et les autres équipements thermiques (fours exceptés) sont assimilés aux chaudières car les parcs de ces équipements

<sup>13</sup> 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.

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 (cf. section 1A2\_mobile sources).

La détermination des émissions des installations visées est effectuée au moyen de plusieurs approches potentielles :

- La mesure directe des émissions en continu au moyen de chaînes de mesurage automatiques. Ces dispositifs sont imposés par la réglementation pour certaines substances aux installations dont les rejets dépassent certains seuils, ou présentent un caractère de dangerosité ou de toxicité. En deçà de ces seuils, la mesure peut être périodique.
- L'estimation des rejets est également effectuée au moyen de bilans matières pour certaines installations et certaines substances (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, métaux lourds, etc.) sous certaines conditions de représentativité.
- La modélisation des émissions est également envisageable mais relativement peu pratiquée car complexe et onéreuse à mettre en œuvre.
- Le recours à des facteurs d'émission est très fréquent notamment pour les substances non visées par les approches précédentes, mais aussi comme indicateur représentant in fine la quantité rejetée au cours d'une période donnée par rapport à une unité d'activité.

Les données disponibles que constituent les déclarations des exploitants aux DREAL [19] comportent de nombreuses indications qui sont basées sur les approches citées ci-dessus. Ces informations sont exploitées au niveau de chaque installation pour les plus importantes, notamment pour réaliser certains inventaires (cf. inventaire GIC). Ce processus permet une prise en compte des spécificités de chaque installation le cas échéant (par exemple, tenir compte de la teneur en soufre du combustible spécifiquement consommé par l'installation). A défaut d'être disponible, l'information recherchée est remplacée, soit par un bilan matière, soit par l'utilisation d'un facteur d'émission moyen qui peut toutefois rester spécifique d'un type d'équipement, d'une taille d'installation, etc.

Ces facteurs d'émission sont développés dans les sous-sections suivantes propres aux différentes catégories de polluants.

Les secteurs présentant des spécificités sont développés dans des sections particulières (sidérurgie, métaux non ferreux, etc. - catégories 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 et NFR 1A2a, 1B1b et 2C1. En ce qui concerne les rejets de CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub>, 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 les autres substances (i.e. le N<sub>2</sub>O et les polluants atmosphériques), d'après les lignes directrices du GIEC et d'EMEP, 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 et NFR 1A2. Les émissions liées aux gaz sidérurgiques vendus à d'autres sites sont allouées aux secteurs consommateurs.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. Les facteurs d'émission spécifiques nationaux ou par sites sont appliqués selon les secteurs (cf. section générale énergie).

Pour les combustibles particuliers, connus grâce aux déclarations annuelles de rejets [19] dans le cadre du système d'échange de quotas d'émissions (SEQE), des facteurs d'émission spécifiques recalculés d'après les déclarations sont utilisés.

Les émissions de CO<sub>2</sub> 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 CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O**

Les émissions de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. Les valeurs par défaut par combustible proviennent du GIEC 2006 [624].

Comme pour le CO<sub>2</sub>, les émissions de CH<sub>4</sub> 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 N<sub>2</sub>O, ne pouvant être rapportées dans le CRF 2C1, sont allouées au CRF 1A2a comme auparavant.

### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

### **Emissions de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> et poussières totales en suspension (TSP)**

Concernant les chaudières, on dispose chaque année de données spécifiques pour un certain nombre d'installations de puissance supérieure à 50 MW [19, 39]. Ces valeurs spécifiques permettent de déterminer une valeur moyenne par défaut basée sur plusieurs années d'observation. Pour les installations de moins de 50 MW, des facteurs d'émission par défaut sont employés (cf. section générale énergie).

Concernant les fours, les émissions sont déterminées le plus souvent à partir des déclarations annuelles disponibles [19]. Dans les autres cas, les émissions sont déterminées à partir de méthodes intermédiaires et de facteurs d'émission propres à chaque secteur de l'industrie (cf. sections 1A2a à 1A2g).

Pour les NO<sub>x</sub> et TSP, un cas particulier reste néanmoins à souligner pour la combustion du bois dans des installations inférieures à 50 MW. Pour les NO<sub>x</sub>, une analyse spécifique des déclarations pour les installations d'une puissance comprise entre 20 et 50 MW, ainsi qu'une étude sur les niveaux d'émission des installations inférieures à 20 MW [1212], permettent de déterminer des facteurs d'émission spécifiques. Pour les TSP, la prise en compte d'installations, entre 1 et 20 MW, faisant partie du Fond Chaleur de l'ADEME, conduit à une baisse des facteurs d'émission à partir de 2010 [1004].

### **Emissions de COVNM et CO**

Les émissions de COVNM et CO sont estimées au moyen de facteurs d'émission différents selon les catégories de puissance des installations. Ces FE proviennent du Guidebook EMEP/EEA pour les installations > 50 MW [939] et celles inférieures à 50 MW [940], et d'une étude nationale spécifique pour les NAPFUE 111, 116 et 117 [67].

Pour les COVNM liés à la combustion de bois, une distinction spécifique est faite pour considérer les installations faisant partie du Fond Chaleur de l'ADEME, avec des niveaux d'émission plus faibles, à partir de 2010 [1004].

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission moyens par combustible pour les installations inférieures à 50 MW (cf. section générale énergie).

### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

L'hypothèse est faite que toutes les installations de puissance supérieure à 50 MW sont équipées à 40% d'électrofiltres, à 40% de filtres à manches et à 20% de laveurs. Pour celles de puissance inférieure à 50 MW, il est supposé qu'elles sont équipées à 50% de cyclones, à 10% d'électrofiltres, à 10% de filtres à manches et à 5% de laveurs, les 25% restantes n'étant pas du tout équipées. La granulométrie est alors obtenue en appliquant ces distributions aux profils granulométriques présentés dans la section générale énergie. Dans le cas du gaz naturel, les facteurs d'émission de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> proviennent du Guidebook EMEP / EEA [414] : le facteur d'émission utilisé est le même que pour les particules totales.

### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio provient de la référence [17].

Les ratios retenus pour les chaudières dépendent de la puissance de l'équipement :

#### **Chaudières > 50 MW**

- 2,2% pour les combustibles minéraux solides (hors bois et déchets industriels),
- 6,4% pour les déchets industriels,
- 3,3% pour le bois,
- 5,6% pour les combustibles liquides hors fioul domestique et gazole,
- 33,5% pour le fioul domestique et le gazole,
- 2,5% pour les combustibles gazeux.

#### **Chaudières < 50 MW**

- 6,4% pour les combustibles solides (hors bois),
- 28% pour le bois,
- 56% pour les combustibles liquides,
- 4% pour les combustibles gazeux.

Concernant les fours, se reporter aux sections 1A2a à 1A2g.

### **Métaux lourds (ML)**

Les émissions de métaux lourds sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années sauf dans le cas du plomb dans l'essence. Ces facteurs d'émission par combustible sont disponibles dans la section générale énergie.

#### ***Dioxines et furanes (PCDD-F)***

Les émissions de dioxines/furanes sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années.

Les facteurs d'émission utilisés sont ceux décrits dans la section générale énergie.

#### ***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Les émissions pour chacun des 8 HAP sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années.

Les facteurs d'émission utilisés sont ceux décrits dans la section générale énergie ou dans les références [67] et [968] pour le bois.

#### ***Polychlorobiphényles (PCB)***

Les émissions de PCB sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années (cf. section générale énergie).

#### ***Hexachlorobenzène (HCB)***

Les émissions de HCB sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années (cf. section générale énergie).

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
27/01/2021	MS	01/02/2021	JV

## FONDERIES DE FONTE GRISE

Cette section s'intéresse à la production de fonte grise.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.2.a
CEE-NU / NFR	1.A.2.a
SNAPc (extension CITEPA)	03.03.03
CE / directive IED	2.4 (en partie)
CE / E-PRTR	2d (en partie)
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production nationale annuelle de fonte	Facteurs d'émission nationaux

### Niveau de méthode :

Rang 2

### Références utilisées :

- [26] Ministère de l'Industrie, de l'Economie et des Finances (SESSI) et Ministère de l'Agriculture (SCEES) - Enquête annuelle sur les consommations d'énergie dans l'industrie (EACEI)
- [52] Charbonnages de France - Statistique charbonnière annuelle
- [66] EPA - AP42. Janvier 1995
- [68] OFEFP - Mesures pour la réduction des émissions de PM<sub>10</sub>. Document environnement n° 136, juin 2001
- [70] Citepa - BOUSCAREN R. - Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et de composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996
- [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
- [583] EMEP / CORINAIR Guidebook 1996 - section B333-6
- [584] Citepa - Technical note on BAT in iron foundry industry, 1992, page 34
- [622] INSEE - Indice de la production industrielle - Produit détaillé dans les industries manufacturières

[638] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - section I.8 - table 1- 4 (CO<sub>2</sub>) ; Volume 2 - tables 2.2, 2.3, 2.4 et 2.5 (CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O)

[744] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Part B section 2C Aluminium production

[957] Statistiques de la Fédération Forge et Fonderie

[1079] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2C3 Aluminium production

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Dans les fours à cubilot, le coke de houille contenant du soufre, sa combustion entraîne des émissions de SO<sub>2</sub>. Les polluants associés à la combustion sont également émis : NO<sub>x</sub>, COVNM, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, etc.

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

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

Les émissions sont calculées à partir de la production nationale de fonte ([622] de 1960 à 1980, [957] à partir de 1981) et de facteurs d'émission. Pour les gaz à effet de serre, la consommation de combustibles pour la production de fonte et des facteurs d'émission spécifiques aux combustibles sont utilisés. Les consommations nationales de combustibles sont issues de statistiques nationales sectorielles [26] jusqu'en 2010. A partir de 2011, par manque de données, une consommation totale de combustibles est estimée à partir du ratio d'énergie consommée par tonne de fonte produite pour l'année 2010 et de la production nationale de fonte [957]. Les consommations par type de combustible sont estimées à partir de la consommation totale et de la répartition moyenne (moyenne réalisée sur les années 2006 à 2010) des consommations par type de combustible, appliquée à la consommation totale annuelle.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

D'après CORINAIR [583], les émissions de CO<sub>2</sub> induites par la production de fonte grise sont uniquement dues à la consommation de combustibles. Les émissions de CO<sub>2</sub> sont calculées en multipliant les consommations de combustibles [26] par les facteurs d'émission nationaux (cf. section générale énergie). Le facteur d'émission du CO<sub>2</sub> est ensuite rapporté à la production annuelle [622][957]. Il varie donc en fonction des années.

### **Emissions de CH<sub>4</sub>, et N<sub>2</sub>O**

Comme pour le CO<sub>2</sub>, les émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O 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].

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Pour le SO<sub>2</sub> émis par les fours à cubilots, le facteur d'émission est déterminé à partir de la formule du BREF fonderies [584], qui fait intervenir la teneur en soufre du coke, qui est variable d'une année à l'autre [52].

Les autres types de four (fours à arc, à induction ou rotatifs) n'émettent pas de SO<sub>2</sub> de façon significative. Par conséquent, le facteur d'émission de SO<sub>2</sub> est calculé en considérant un pourcentage de fours à cubilots de 61% [253].

### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Le facteur d'émission moyen retenu pour les NO<sub>x</sub> provient de la littérature [583].

### **Emissions de COVNM**

Le facteur d'émission moyen retenu pour les COVNM provient de la littérature [583].

### **Emissions de CO**

Le facteur d'émission moyen retenu pour le CO provient de la littérature [254].

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables lors de la production de fonte grise.

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Le facteur d'émission des poussières totales est issu de l'OFEFP [68]. Ce facteur d'émission dépend du type de four utilisé. La moyenne entre le facteur d'émission du four à cubilot et du four électrique est retenue.

### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Pour les PM<sub>10</sub>, la même méthodologie que pour les TSP est appliquée. Le facteur d'émission des PM<sub>10</sub> est issu de l'OFEFP [68]. Ce facteur d'émission dépend du type de four utilisé. La moyenne entre le facteur d'émission du four à cubilot et du four électrique est retenue.

Pour les  $PM_{2,5}$ , la granulométrie est la même que pour les  $PM_{10}$  [66].

Pour les  $PM_{1,0}$ , la granulométrie est calculée à partir de données provenant de l'US EPA [66].

### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de  $PM_{2,5}$ . Ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1079]. La valeur retenue est assimilée à celle indiquée pour la production d'aluminium secondaire.

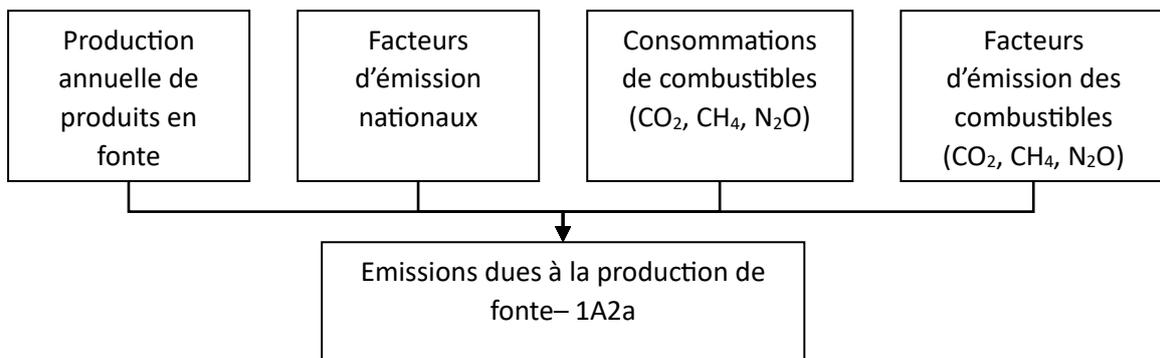
### **Métaux lourds (ML)**

Dans cette section, les facteurs d'émission proviennent tous de l'étude réalisée par R. Bouscaren [70]. Les émissions de mercure et de sélénium sont considérées comme négligeables.

### **Dioxines et furannes (PCDD-F)**

Dans cette section, seules des émissions de dioxines et furanes sont attendues. Le facteur d'émission provient de la littérature [70]

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
08/02/2024	CJ	13/02/2024	JV

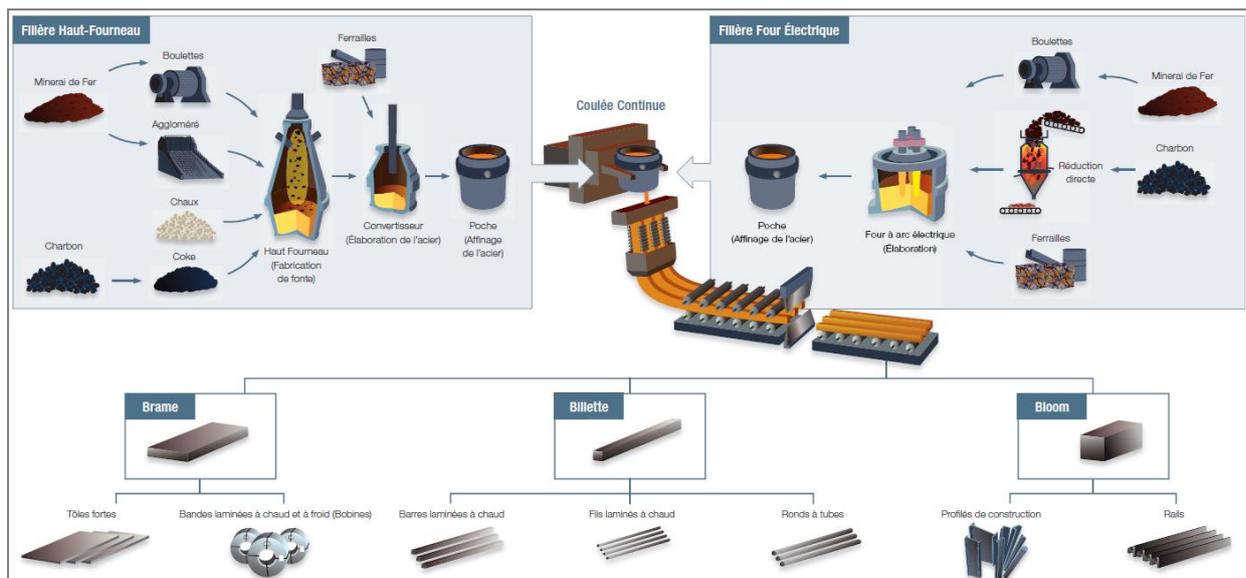
## SIDERURGIE : PRODUCTION DE FONTE ET D'ACIER

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

- L'agglomération de minerai ;
- Les réchauffeurs de hauts-fourneaux ;
- Les fours de réchauffage pour les ateliers sidérurgiques autres que ceux précités.

Les émissions liées au procédé, concernant les autres activités (chargement des hauts-fourneaux, coulée des hauts-fourneaux, aciéries à l'oxygène, aciéries électriques et laminoirs) sont traitées dans la section « 2C1 - iron steel » (émissions non liées à la combustion). Les installations de combustion connexes nécessaires à l'activité sidérurgique sont traitées dans les sections générales énergie.

Le procédé et les différents ateliers de fabrication sont rappelés ci-dessous.



Source : acier.org

- *Agglomération de minerai*

La chaîne d'agglomération est un atelier dans lequel le minerai de fer est broyé et calibré en grains qui s'agglomèrent entre eux. L'ajout de liants (chaux, castine) et de poussier de coke conduit à la production d'agglomérés. L'aggloméré obtenu est concassé puis chargé dans le haut fourneau avec du coke. Le coke est un combustible résidu solide issu de la distillation de la houille.

- *Hauts-fourneaux*

Les hauts-fourneaux produisent de la fonte à partir du fer extrait du minerai (l'aggloméré) et du coke. Ces deux produits sont introduits par le haut du haut-fourneau. L'air chaud (1

200 °C) insufflé à la base du haut-fourneau provoque la combustion du coke. L'oxyde de carbone formé réduit les oxydes de fer pour isoler le fer. La chaleur dégagée fait fondre le fer. Le mélange obtenu est la fonte. Les résidus formés (laitier) sont exploités par d'autres industries : construction de routes, cimenterie, etc. L'opération qui se déroule dans les hauts-fourneaux est consommatrice d'énergie fossile. Le processus de fabrication comprend, d'une part, la combustion d'énergie fossile (essentiellement du gaz de haut fourneau) dans les régénérateurs ou « cowpers », également appelés « réchauffeurs », qui s'apparente à une combustion sans contact et, d'autre part, des procédés non énergétiques tels que le chargement et la coulée au niveau du haut-fourneau. La présente section traite de la partie énergétique, tandis que les procédés non énergétiques sont traités dans la section « 2C1 - iron and steel ».

L'élaboration des aciers conduit à des traitements particuliers effectués soit dans les usines sidérurgiques intégrées, soit dans des usines distinctes, à partir de fonte, d'ajouts de diverses substances et dans des conditions de fonctionnement particulières (température, atmosphère, etc.). Différents procédés sont utilisés pour fabriquer l'acier : les fours à oxygène dans lesquels de l'oxygène est injecté et les fours électriques. Ces émissions de procédés sont traitées dans la section « 2C1 - iron and steel ».

➤ Autres ateliers

Les autres ateliers sidérurgiques (code SNAP 030302) et les laminoirs (code SNAP 040208) permettent de mettre en forme le métal (bandes, lingots, billettes, fils, poutres, etc.). Ces opérations sont consommatrices d'énergie et sources d'émissions diffuses, notamment de COVNM. Les émissions sont traitées dans la présente section.

#### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.2.a
CEE-NU / NFR	1.A.2.a
SNAPc (extension CITEPA)	03.02.03, 03.03.01, 03.03.02
CE / directive IED	2.2
CE / E-PRTR	2b
CE / directive GIC	Hors champ

#### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Données de productions et consommations de combustibles	Valeurs déterminées à partir des émissions déclarées par les exploitants, de valeurs nationales par défaut et des caractéristiques des combustibles

#### Niveau de méthode :

Rang 2+ du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations.

## Références utilisées :

- [10] Ministère de l'Environnement - Données internes
- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [27] Fédération française de l'Acier (FFA) / A3M (Alliance des Minerais, Minéraux et Métaux) - Données internes (jusqu'en 2013)
- [50] Données communiquées directement par les exploitants au Citepa
- [70] Citepa - BOUSCAREN R. - Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et de composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996
- [162] LECES - Evolution des métaux lourds et composés organiques persistants en sidérurgie, 1996
- [357] TNO - Technical paper to the OSPARCOM - HELCOM - UNECE emission inventory, report TNO-MEP R93/247, p26, 1995
- [638] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - section I.8 - table 1-4 (CO<sub>2</sub>); Volume 2 - tables 2.2, 2.3, 2.4 et 2.5 (CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O)
- [756] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 1.A.2 Manufacturing industries and construction - table 3.3 Tier 1 emission factor for 1A2 combustion in industry using gaseous fuels
- [761] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 1.A.2 Manufacturing industries and construction (combustion), tables 3-2 à 3-5
- [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
- [1081] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 1.A.2 Manufacturing industries
- [1287] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 2.C.1

## Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Actuellement, deux sites intégrés de production d'acier sont encore en activité (présence du four à coke, de l'agglomération, 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)).

## Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

### ➤ Agglomération de minerai

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

➤ Réchauffeurs de hauts-fourneaux

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

➤ Autres ateliers

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

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

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

Par exemple, l'atelier de production de fonte (au sein du haut-fourneau) utilise du coke et des charbons comme agents réducteurs (matières premières → émissions liées au procédé) 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 des émissions entre la combustion et le procédé est réalisée de différentes façons selon la nature des intrants, selon les substances considérées (cf. sections dédiées aux émissions par polluant) sur la base des lignes directrices pour la réalisation des inventaires des émissions. A partir de 2014, les données fournies par la fédération professionnelle [27] ne sont plus disponibles. Afin d'estimer les consommations de combustible pour les ateliers : agglomération, hauts-fourneaux, et 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.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

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 :

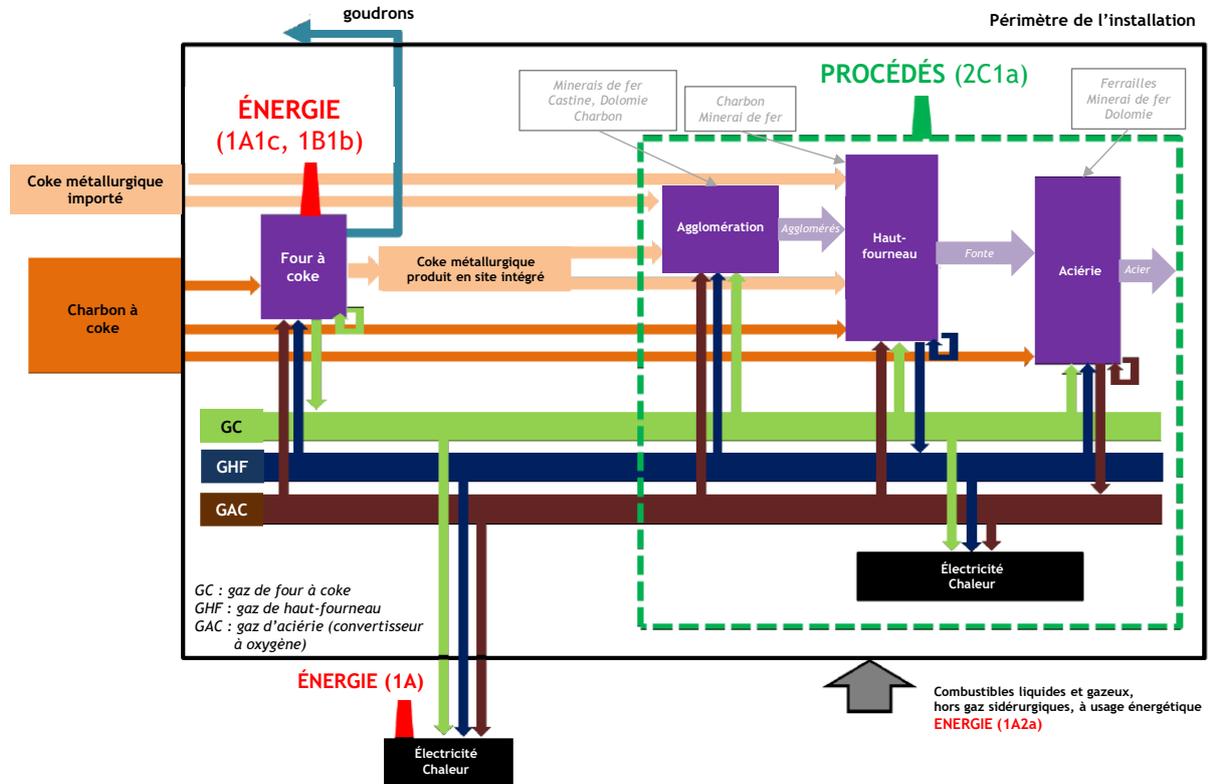


Schéma tiré des Lignes directrices du GIEC - Refinement 2019 (V3\_CH04\_Figure 4.8d), et adapté à la situation française.

### Emissions de CO<sub>2</sub>

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

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

➤ *Réchauffeurs de hauts-fourneaux*

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des teneurs en carbone moyennes (sur 2001-2008) spécifiques à ces combustibles [27]. Les émissions sont ensuite ramenées à la production annuelle de fonte brute [27] pour obtenir le facteur d'émission par tonne de fonte produite.

➤ *Autres ateliers*

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont calculées par type de combustible sur la base des consommations annuelles des différents combustibles et matières employés [27] et des teneurs en carbone moyennes (sur 2001-2008) spécifiques à ces combustibles [27].

***Emissions de CH<sub>4</sub>***

Comme pour le CO<sub>2</sub>, les émissions de CH<sub>4</sub> 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 CH<sub>4</sub> sont connues annuellement, site par site depuis 2003 [19]. A l'aide de la production nationale d'agglomérés, un facteur d'émission moyen est recalculé. Pour rapporter les émissions liées à la combustion par type de combustible, les facteurs d'émission standards nationaux par combustible sont utilisés, pondérés par le facteur d'émission issu des déclarations annuelles (afin d'assurer la cohérence avec les émissions déclarées). Avant 2003, un facteur d'émission moyen basé sur les données de 2003 et 2004 est appliqué.

➤ *Réchauffeurs de hauts-fourneaux*

Les émissions de CH<sub>4</sub> sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des facteurs d'émission par défaut du GIEC 2006 [638]. Les émissions sont ensuite ramenées à la production annuelle de fonte brute [27] pour obtenir le facteur d'émission par tonne de fonte produite.

➤ *Autres ateliers*

Les émissions de CH<sub>4</sub> pour ces ateliers sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des facteurs d'émission par défaut du GIEC 2006 [638].

***Emissions de N<sub>2</sub>O***

➤ *Agglomération de minerai*

Les émissions de N<sub>2</sub>O 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<sub>2</sub>O 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<sub>2</sub>O 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 Gaz fluorés**

Pas d'émission attendue.

**Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

**Emissions de SO<sub>2</sub>**

➤ Agglomération de minerai

Les émissions de SO<sub>2</sub> sont connues annuellement, site par site, depuis 1994 [19]. Le facteur d'émission moyen est recalculé à l'aide de la production nationale d'agglomérés [27].

➤ Réchauffeurs de hauts-fourneaux

A partir de 2004, les émissions déclarées [19] sont utilisées. Pour les années antérieures, un facteur d'émission moyen a été calculé sur la base des données disponibles [27]. Lorsque les déclarations comprennent les émissions des réchauffeurs (combustion), et de la coulée et du chargement (procédé), une étude menée par la profession [27] est utilisée pour calculer un facteur d'émission dédié à la partie combustion.

➤ Autres ateliers

Les émissions de SO<sub>2</sub> pour ces ateliers sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des facteurs d'émission nationaux relatifs à ces mêmes combustibles (cf. section générale énergie).

**Emissions de NO<sub>x</sub>**

➤ Agglomération de minerai

Les émissions de NO<sub>x</sub> sont connues annuellement, site par site, depuis 1994 [19]. Le facteur d'émission moyen est recalculé à l'aide de la production nationale d'agglomérés [27].

➤ Réchauffeurs de hauts-fourneaux

A partir de 2004, les émissions déclarées [19] sont utilisées. Pour les années antérieures, un facteur d'émission moyen a été calculé sur la base des données disponibles [27]. Lorsque les déclarations comprennent les émissions des réchauffeurs (combustion), et de la coulée et du chargement (procédé), une étude menée par la profession [27] est utilisée pour calculer un facteur d'émission dédié à la partie combustion.

➤ Autres ateliers

Les émissions de NO<sub>x</sub> pour ces ateliers sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des facteurs d'émission nationaux relatifs à ces mêmes combustibles (cf. section générale énergie).

### **Emissions de COVNM**

#### ➤ Agglomération de minerai

Avant 2004, les données disponibles sont partielles, et un facteur d'émission moyen est retenu sur la base des données des années 2004 à 2007, déclarées par les exploitants [19]. A partir de 2004, les émissions déclarées par les exploitants sont utilisées [19]. Le facteur d'émission moyen par tonne d'agglomérés est recalculé à l'aide de la production nationale d'agglomérés.

#### ➤ Réchauffeurs de hauts-fourneaux

Les émissions de COVNM pour cet atelier sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles liquides et gazeux employés [27] et des facteurs d'émission communs relatifs à ces mêmes combustibles (cf. section générale énergie). Les émissions sont ensuite ramenées à la production de fonte brute pour obtenir des facteurs d'émission par tonne de fonte brute.

#### ➤ Autres ateliers

Les émissions de COVNM pour ces ateliers sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des facteurs d'émission nationaux relatifs à ces mêmes combustibles (cf. section générale énergie).

### **Emissions de CO**

Concernant les émissions de CO, la distinction entre les émissions liées à la combustion et les émissions liées au procédé est réalisée grâce à un bilan matière sur le carbone au sein de l'atelier concerné. Par exemple, l'atelier de production de fonte (dans le haut-fourneau) produit des gaz de haut fourneau issus de la transformation des matières premières introduites dans le haut fourneau. Des combustibles liquides et gazeux sont utilisés pour réchauffer l'air injecté à la base du haut-fourneau qui provoque la combustion des matières premières. La fédération professionnelle du secteur fournit la quantité de carbone entrant dans le haut-fourneau, 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 liées au procédé sont basées sur la quantité de carbone présente dans les gaz torchés et dans les gaz non captés (et sont attribuées au chargement et à la coulée du haut fourneau). Les quantités de gaz de haut fourneau valorisés, ainsi que les combustibles liquides et gazeux utilisés comme combustibles (ex. : gaz de four à coke ou gaz d'aciérie, gaz naturel) sont affectés de facteurs nationaux (cf. section générale énergie) pour déterminer les émissions liées à la combustion.

#### ➤ Agglomération de minerai

Cet atelier est très émetteur de CO. Avant 2010, un facteur d'émission moyen, calculé sur la base des données partielles disponibles [19], est appliqué. A partir de 2010 les émissions des sites sont suffisamment détaillées pour être utilisées [19][27] et pouvoir calculer un facteur d'émission par année.

#### ➤ Réchauffeurs de hauts-fourneaux

Les émissions de CO pour cet atelier sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des facteurs d'émission communs relatifs à ces mêmes

combustibles (cf. section générale énergie). Les émissions sont ensuite ramenées à la production de fonte brute pour obtenir des facteurs d'émission par tonne de fonte brute.

➤ **Autres ateliers**

Les émissions de CO pour ces ateliers sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des facteurs d'émission nationaux relatifs à ces mêmes combustibles (cf. section générale énergie).

**Emissions de NH<sub>3</sub>**

Pas d'émission attendue.

**Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

➤ **Agglomération de minerai**

Le facteur d'émission des TSP des années 1990 à 1994 provient de données du LECES [162]. Depuis 2003, les données disponibles dans les déclarations annuelles des rejets par site [19] sont utilisées. Entre ces deux périodes, le facteur d'émission est interpolé.

➤ **Réchauffeurs de hauts-fourneaux**

La totalité des émissions de TSP est affectée au procédé (cf. section « 2C1 - iron steel ») car la majorité des émissions provient des matières premières solides (coke et charbons).

➤ **Autres ateliers**

Les émissions de TSP pour ces ateliers sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des facteurs d'émission nationaux relatifs à ces mêmes combustibles (cf. section générale énergie).

**Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

➤ **Agglomération de minerai**

La granulométrie provient d'une campagne de mesures menée par la fédération professionnelle [27].

➤ **Réchauffeurs de hauts-fourneaux**

La totalité des émissions de PM est affectée au procédé (cf. section « 2C1 - iron steel ») car la majorité des émissions provient des matières premières solides (coke et charbons).

➤ **Autres ateliers**

Les émissions de PM pour ces ateliers sont calculées sur la base de la granulométrie commune aux combustibles utilisés (cf. section générale énergie).

**Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

➤ **Agglomération de minerai**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio provient d'une estimation et vaut 5%.

➤ **Réchauffeurs de hauts-fourneaux**

Pas d'émission attendue dans cette section (affectées au procédé).

➤ **Autres ateliers**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub> par type de combustible. Ces ratios proviennent du Guidebook EMEP/EEA sur les inventaires d'émissions de polluants [768], [1081].

### **Métaux lourds (ML)**

#### ➤ Agglomération de minerai

Les facteurs d'émission pour As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg et Zn sont basés sur les données transmises par les exploitants [50] ainsi que les déclarations annuelles de rejets [19] depuis 2006. Le facteur d'émission pour l'année 1990 provient de l'étude BOUSCAREN [70], hors Hg, qui provient de données internes transmises par la profession pour l'année 2004 [50] et appliquée de 1990 à 2005. Les valeurs des facteurs d'émission sont interpolées pour les années intermédiaires. Le facteur d'émission du Se provient de données internes transmises par la profession pour l'année 2004 [50] et appliqué sur toute la série temporelle.

#### ➤ Réchauffeurs de hauts-fourneaux

La totalité des émissions de métaux lourds est affectée au procédé (cf. section « 2C1 - iron steel ») car la majorité des émissions provient des matières premières solides (coke et charbons).

#### ➤ Autres ateliers

Les émissions de métaux lourds pour ces ateliers sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des facteurs d'émission nationaux relatifs à ces mêmes combustibles (cf. section générale énergie). Pour la consommation de gaz sidérurgiques, pour lesquels il n'existe pas de facteurs d'émission nationaux de métaux lourds, ni de valeurs par défaut spécifiques aux gaz sidérurgiques dans le guide EMEP/EEA 2019, les facteurs d'émission des métaux lourds du gaz naturel sont appliqués aux gaz sidérurgiques (gaz de cokerie, gaz de haut-fourneau, gaz d'aciérie).

### **Dioxines et furannes (PCDD-F)**

#### ➤ Agglomération de minerai

Les émissions de dioxines et furannes sont produites significativement par les chaînes d'agglomération de minerai. Pour les années antérieures à 1998, des données du ministère chargé de l'environnement sont utilisées [10]. Depuis 1998, les données disponibles par site sont utilisées [19][50].

#### ➤ Réchauffeurs de hauts-fourneaux

Pas d'émission notable attendue.

#### ➤ Autres ateliers

Les émissions de PCDD-F pour ces ateliers sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des facteurs d'émission nationaux relatifs à ces mêmes combustibles (cf. section générale énergie).

### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

#### ➤ Agglomération de minerai

En 2011 et 2012, des facteurs d'émission moyens de HAP sont issus des données obtenues auprès des sites et compilées par la fédération professionnelle [27]. En 2012 un des sites a été arrêté. Pour les années 2010 et antérieures, le facteur d'émission de 2011 est utilisé (situation antérieure à la

fermeture). A partir de 2012, le facteur d'émission établi pour cette année-là est reporté (situation postérieure à la fermeture).

➤ Réchauffeurs de hauts-fourneaux

Les émissions sont regroupées avec les autres émissions des hauts-fourneaux présentées dans la section « 2C1 - iron steel ».

➤ Autres ateliers

Les émissions de HAP pour ces ateliers sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des facteurs d'émission nationaux relatifs à ces mêmes combustibles (cf. section générale énergie).

**Polychlorobiphényles (PCB)**

➤ Agglomération de minerai

Les émissions de PCB sont calculées à partir de la production d'agglomérés et d'un facteur d'émission provenant de la littérature [357].

➤ Réchauffeurs de hauts fourneaux

Pas d'émission notable attendue.

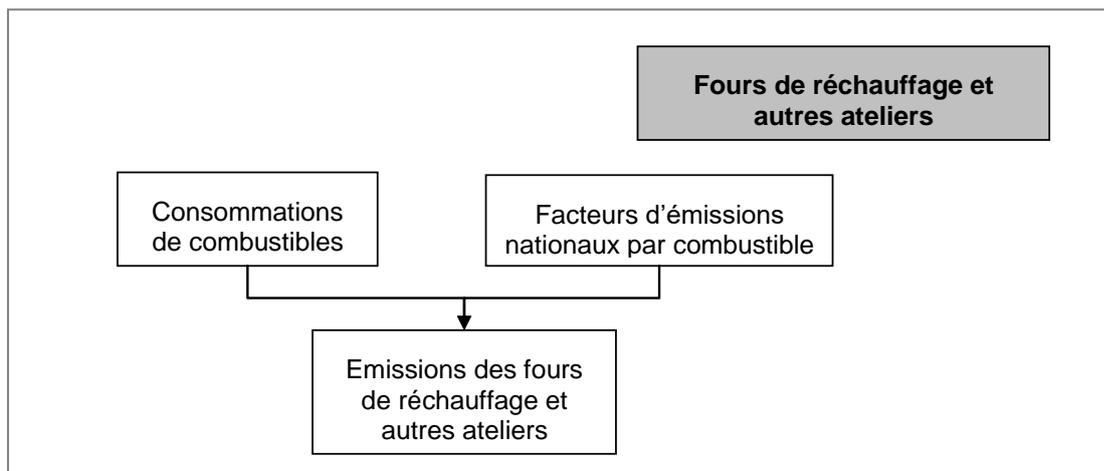
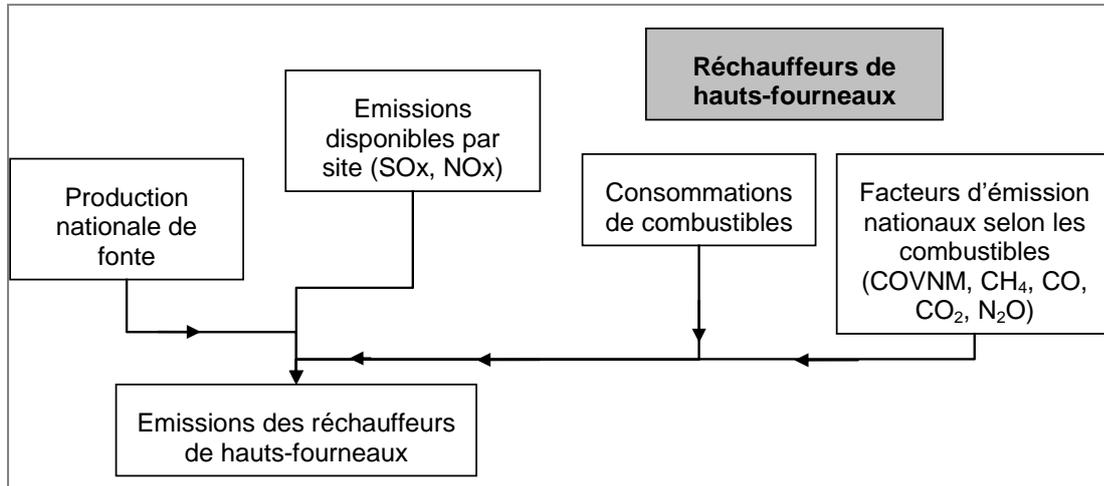
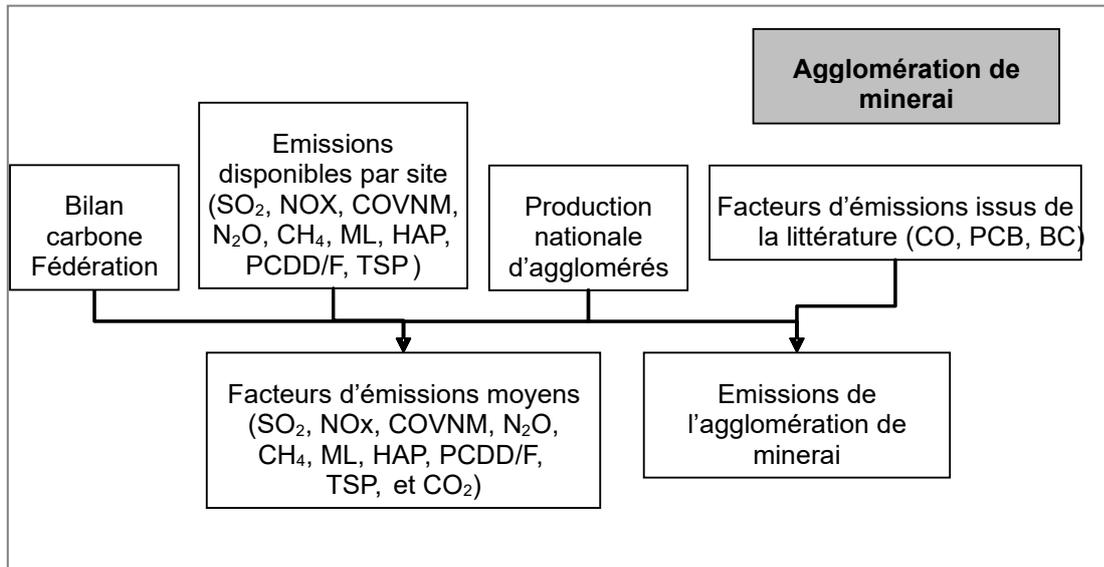
➤ Autres ateliers

Les émissions de PCB pour ces ateliers sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des facteurs d'émission nationaux relatifs à ces mêmes combustibles (cf. section générale énergie).

**Hexachlorobenzène (HCB)**

Pas d'émission notable attendue.

Logigrammes du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
02/02/2023	RK	02/02/2023	JV

## PRODUCTION DE CUIVRE

Cette section concerne la production de cuivre de première et seconde fusion.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1A2b
CEE-NU / NFR	1A2b
SNAPc (extension CITEPA)	030306, 030309
CE / directive IED	2.5
CE / E-PRTR	2e
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Volumes de production et consommations de combustibles du secteur	Valeurs nationales ou par défaut selon les substances

### Niveau de méthode :

Rang 2 du fait de l'activité spécifique au secteur et 3 en fonction des données disponibles auprès des exploitants.

### Références utilisées :

- [26] Ministère de l'Industrie, de l'Economie et des Finances (SESSI) et Ministère de l'Agriculture (SCEES) - Enquête annuelle sur les consommations d'énergie dans l'industrie (EACEI)
- [50] Données communiquées directement par les exploitants au Citepa
- [66] EPA - AP42. Janvier 1995
- [70] CITEPA - BOUSCAREN R. - Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et de composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996
- [74] EMEP MSC EAST - Note technique 6/2000
- [163] UK fine particulate - Emissions from industrial processes, août 2000
- [186] Ministry of Housing, physical planning and environment - Handbook of emission Factors - Industrial Sources - 1984
- [223] Société de l'industrie minérale - Annuaire statistique mondial des minerais et métaux
- [272] INSEE - Annuaire rétrospectif de la France - 1948 - 1988
- [623] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 2, Table 2.3 (combustion stationnaire)

[744] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016, Part B section 2C Aluminum production

[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

[937] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016 - Chapter 1.A.2 Combustion in manufacturing industries and construction - Table 3-13

[1079] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2C3 Aluminium production

[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

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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<sup>ère</sup> 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 ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ),
  - 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).

#### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Les niveaux d'activité correspondent aux productions de cuivre de 1<sup>ère</sup> et de 2<sup>nde</sup> 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].

Les émissions de certains polluants sont connues directement à partir des données communiquées par les industriels. Pour les autres polluants des facteurs d'émission rapportés à la production sont déterminés.

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

Les gaz à effet de serre émis lors de la production de cuivre sont le CO<sub>2</sub>, le N<sub>2</sub>O et le CH<sub>4</sub>.

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

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<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O**

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].

#### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

La production de cuivre est émettrice de SO<sub>2</sub>, de NO<sub>x</sub>, de COVNM et de CO.

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM**

Les émissions de SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> retenues sont déterminées à partir :

- de contacts avec l'industrie [50] pour la production de cuivre de première fusion,
- de facteurs d'émission provenant du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1086] pour la production de cuivre de seconde fusion.

#### **Emissions de COVNM**

Les émissions de COVNM retenues sont déterminées à partir :

- de contacts avec l'industrie [50] pour la production de cuivre de première fusion,

- d'un facteur d'émission provenant d'une étude hollandaise [186] pour la production de cuivre de seconde fusion (car non estimé dans le Guidebook EMEP/EEA).

### **Emissions de CO**

Les émissions de CO retenues sont déterminées à partir :

- d'un facteur d'émission national par combustible (cf. section générale énergie),
- d'un facteur d'émission provenant du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1086] pour la production de cuivre de seconde fusion.

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables lors de la production de cuivre.

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

La production de cuivre est émettrice de particules. Les facteurs d'émission utilisés pour la première et seconde fusion proviennent de la section procédé du Guidebook EMEP/EEA [1085] faute de données spécifiques dans la partie combustion.

### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Les émissions de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont déterminées à partir de facteurs d'émission provenant de la section procédé du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1086] faute de données spécifiques dans la partie combustion.

Faute de valeur disponible, le facteur d'émission pour les PM<sub>1,0</sub> est supposé identique à celui des PM<sub>2,5</sub>.

### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>, ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1079]. La valeur retenue pour la production de cuivre primaire et secondaire est issue du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1085].

### **Métaux lourds (ML)**

Pour la production de cuivre de première fusion, les facteurs d'émission proviennent d'une étude du CITEPA [70] : les valeurs correspondent aux émissions de métaux lourds lors des opérations de raffinage thermique, fonte et production de blister. Les facteurs d'émission sont ensuite ramenés à la production de cuivre et varient donc d'une année à l'autre selon la part de la production de blister par rapport au cuivre.

Pour la production de cuivre de seconde fusion, les facteurs d'émission proviennent du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1085]. Faute de valeurs disponibles dans la partie combustion pour ces substances, ce sont les valeurs disponibles dans la partie procédés qui sont utilisées pour l'arsenic, le cadmium, le cuivre, le nickel et le plomb. Les émissions de zinc ne sont pas estimées dans le Guidebook EMEP/EEA, le facteur d'émission utilisé pour cette substance provient d'une étude du Citepa [70]

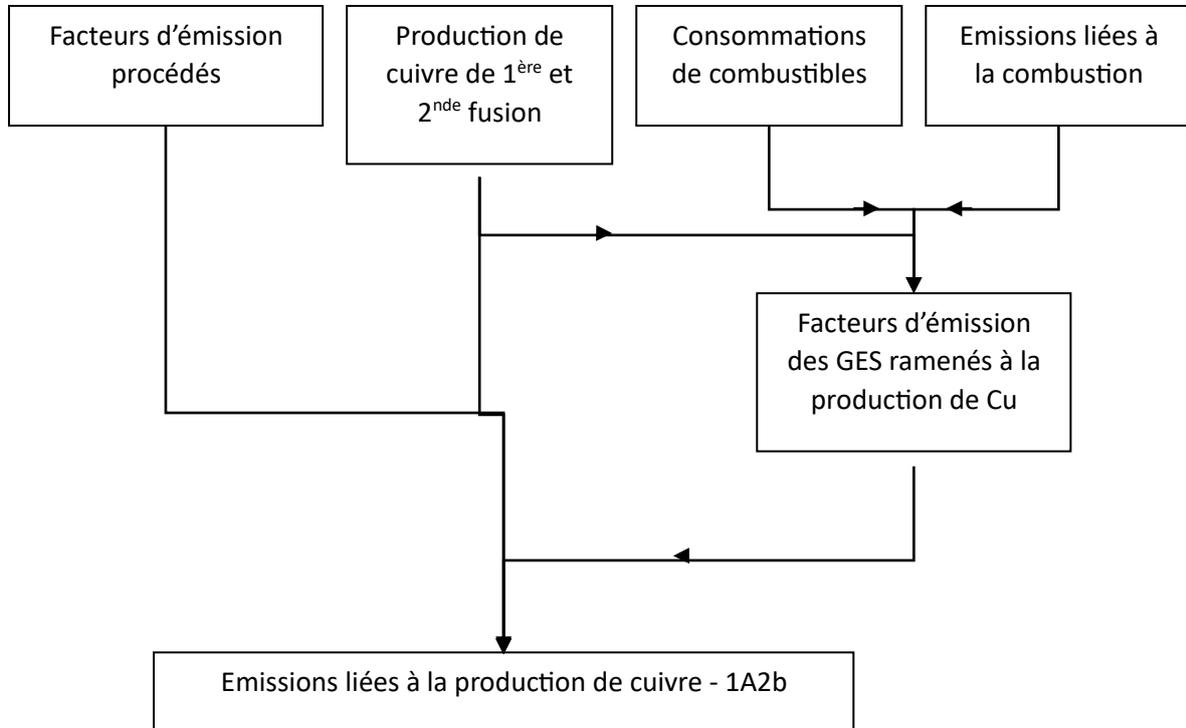
### **Dioxines et furanes (PCDD-F)**

Des émissions de dioxines et furanes sont considérées pour la production de seconde fusion. Le facteur d'émission provient d'une étude du Citepa [70].

### **Hexachlorobenzène (HCB)**

Des émissions de HCB sont considérées pour la production de cuivre. Les facteurs d'émission proviennent de l'EMEP MSC EAST [74].

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
02/02/2023	RK	02/02/2023	JV

## PRODUCTION DE MAGNESIUM

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]. Aucune donnée n'est disponible sur les émissions de CO de la part de l'exploitant.

Les émissions de CO<sub>2</sub> 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.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1A2b
CEE-NU / NFR	1A2b
SNAPc (extension CITEPA)	030323 et 040304
CE / directive IED	2.5 (pour partie)
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Volumes de production et consommations de combustibles du secteur	Utilisation de facteurs d'émission spécifiques à la France à partir de données connues par site ou de facteurs d'émission par défaut

### Niveau de méthode :

Rang 2.

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[26] Ministère de l'Industrie, de l'Economie et des Finances (SESSI) et Ministère de l'Agriculture (SCEES) - Enquête annuelle sur les consommations d'énergie dans l'industrie (EACEI)

[222] Péchiney et/ou Alcan - Données internes

[223] Société de l'industrie minérale - Annuaire Statistique Mondial de Minerais et Métaux

[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

[587] EPA - AP42, Janvier 1995, tableau 12.12-1

[623] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 2, Table 2.3 (combustion stationnaire)

[744] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016, Part B section 2C Aluminium production

[1079] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2C3 Aluminium production

[1081] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 1A2 Manufacturing industries

## Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

### a/ Première fusion

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

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

- Préparation d'oxydes purs

La production en France était basée entièrement sur l'électrolyse du chlorure fondu, obtenu à partir de la dolomie. La dolomie ( $MgCO_3$ ) est transformée en oxydes ( $MgO$ ) par calcination qui sont soumis à un processus de réduction pour obtenir le métal.

- Production de métal

Le procédé électrolytique fut le premier à être mis au point. L'électrolyte est un mélange fondu de chlorures alcalins et de chlorure de magnésium (extraits de l'eau de mer).

Les procédés industriels de réduction thermique du magnésium sont bien plus récents (entre 1930 et 1940). Dans le principe, on chauffe un mélange de magnésie ( $MgO$ ) obtenu à partir de la calcination de la dolomie -  $MgCO_3$ ), d'un réducteur et de produits de scarification. Le magnésium métal est libéré à l'état gazeux :  $MgO + R \rightarrow RO + Mg$ .

Le  $SF_6$  était utilisé comme gaz inertant pour la production de magnésium notamment, en raison de la complexité du procédé. Il y avait donc des émissions de  $SF_6$  dues à des fuites lors de la production [222]. Ces émissions sont traitées dans la section 2C relative aux procédés de la métallurgie. Les autres polluants étaient émis lors de la consommation de combustibles nécessaires au procédé [26].

### b/ Seconde fusion

Outre le site précédemment évoqué après transformation, il existe également d'autres sites de production de magnésium de seconde fusion dont les émissions proviennent des mêmes sources. Ces sites utilisent aussi le  $SF_6$  et des HFC comme gaz inertant. Les émissions de ces gaz fluorés sont traitées dans la section 2C relative aux procédés de la métallurgie, les

émissions relatives à la combustion sont traitées dans la section générale relative à la combustion dans l'industrie.

#### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

La production était connue via l'annuaire statistique mondial des minerais et métaux [223].

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

##### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Pour la première fusion, les facteurs d'émission du CO<sub>2</sub> 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<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O**

Pour la première fusion, les facteurs d'émission du CH<sub>4</sub> et du N<sub>2</sub>O 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 2C relative à la métallurgie.

#### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

##### **Emissions de SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>**

Pour la première fusion, les facteurs d'émission de SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> sont calculés sur la base des déclarations annuelles [19] et de communications des industriels [222] ou, en cas d'indisponibilité de ces informations (années antérieures à 1992), sur la base des combustibles utilisés annuellement sur le site [26] et de facteurs d'émission moyens nationaux (cf. section générale énergie).

##### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables.

##### **Emissions de CO**

Les émissions de CO de la production de magnésium ne sont pas estimées faute de données, de méthodes ou de facteurs d'émission pertinents pour ce secteur dans les lignes directrices EMEP/EEA 2019.

##### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Les émissions de particules pour la première fusion sont calculées sur la base d'un facteur d'émission moyen provenant de la littérature [587].

##### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Il n'y a pas de facteurs d'émission ou de granulométrie disponibles dans la littérature. Cependant, des granulométries à partir des TSP sont disponibles pour d'autres procédés de la métallurgie (plomb et zinc notamment) [227]. La moyenne de ces granulométries est retenue pour la production de magnésium. En l'absence de données exploitables, le facteur d'émission pour les PM<sub>1,0</sub> est supposé identique à celui des PM<sub>2,5</sub>.

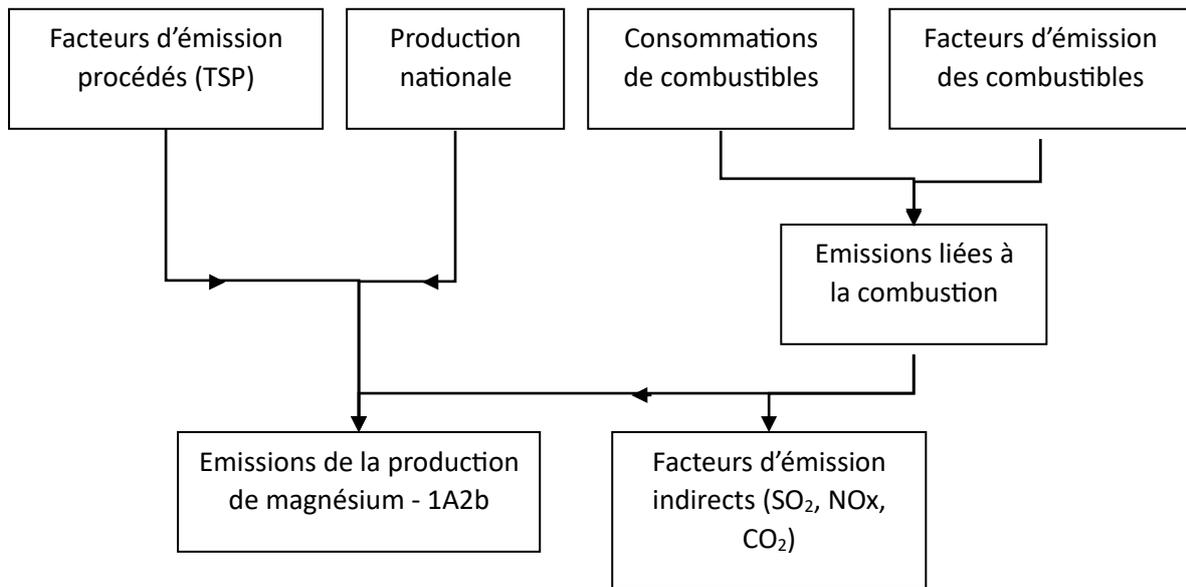
### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de  $PM_{2,5}$ , ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1079]. La valeur retenue pour la combustion dans la métallurgie est celle indiquée pour la production d'aluminium secondaire (table 3.4).

### **Hexachlorobenzène (HCB)**

Les émissions de combustion sont estimées à partir des consommations de combustibles et de facteurs d'émission tirés du Guidebook EMEP/EEA 2019 (tables 3.1 à 3.5) [1081].

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
25/01/2021	MS	01/02/2021	JV

## PLOMB ET ZINC DE PREMIERE FUSION

Le plomb et le zinc de première fusion sont traités dans le même chapitre car historiquement un site commun produisait les deux métaux en France jusqu'en janvier 2003. La production de plomb de première fusion a cessé en France depuis 2003. En ce qui concerne la production de zinc de première fusion, il ne reste plus qu'un site en activité, séparé en 2 entités.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1A2b
CEE-NU / NFR	1A2b
SNAPc (extension CITEPA)	030304 et 030305
CE / directive IED	2.5
CE / E-PRTR	2e
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Volumes de production et consommations de combustibles	Valeurs nationales annuelles

### Niveau de méthode :

Rang 2 du fait de l'utilisation de facteurs d'émission nationaux.

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[26] Ministère de l'Industrie, de l'Economie et des Finances (SESSI) et Ministère de l'Agriculture (SCEES) - Enquête annuelle sur les consommations d'énergie dans l'industrie (EACEI)

[70] Citepa - BOUSCAREN R. - Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et de composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996

[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

[623] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 2, Table 2.3 (combustion stationnaire)

[744] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016, Part B section 2C Aluminium production

[1001] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016, update November 2016, Part B section 2C5

[1002] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016, update November 2016, Part B section 2C6

[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 2016, Part B section 2C6 Zinc production

[1081] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 1A2 Manufacturing industries - Tables 3.1 à 3.5

#### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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.

#### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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.

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

##### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

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 CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O**

Les émissions déterminées sur la base des consommations du secteur et des facteurs d'émission par combustible provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623]. Ils varient donc en fonction des années.

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

### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances.

### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions de SO<sub>2</sub> sont connues au travers des déclarations annuelles [19]. Pour chaque métal, les émissions sont ramenées à la quantité produite. Pour le site produisant les deux métaux, la répartition des émissions de SO<sub>2</sub> entre plomb et zinc de première fusion se fait au prorata des productions. Depuis la fermeture de ce site en 2003, il ne reste plus qu'un site producteur de zinc, dont les émissions de SO<sub>2</sub> ne sont pas comptabilisées pour cette activité mais dans la section relative à la production d'acide sulfurique (B10).

Les facteurs d'émissions sont confidentiels compte tenu du nombre réduit de sites concernés.

#### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Les émissions de NO<sub>x</sub> sont connues au travers des déclarations annuelles [19]. Pour chaque métal, les émissions sont ramenées à la quantité produite. Pour le site produisant les deux métaux, la répartition des émissions de NO<sub>x</sub> entre plomb et zinc de première fusion se fait au prorata des productions. Depuis la fermeture de ce site en 2003, il n'y a plus de production de plomb de première fusion.

Les facteurs d'émission rapportés à la production sont confidentiels compte tenu du nombre réduit de sites concernés

#### **Emissions de COVNM**

Le facteur d'émission est obtenu à partir des facteurs d'émission des différents combustibles (cf. section générale énergie) et des consommations annuelles du secteur d'activité. Le facteur d'émission ramené à la production est confidentiel compte tenu du nombre réduit de sites concernés et varie en fonction des années. Il n'y a plus de production de plomb de première fusion en France depuis 2003.

#### **Emissions de CO**

Le facteur d'émission est obtenu à partir des facteurs d'émission des différents combustibles (cf. section générale énergie) et des consommations annuelles du secteur d'activité. Le facteur d'émission ramené à la production est confidentiel compte tenu du nombre réduit de sites concernés et varie en fonction des années. Il n'y a plus de production de plomb de première fusion en France depuis 2003.

#### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables.

**Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Les émissions de TSP sont connues via la déclaration annuelle des sites producteurs [19].

Plomb de première fusion

Comme le site produisait à la fois du plomb et du zinc de première fusion, les émissions de TSP étaient réparties au prorata des productions. Le facteur d'émission était recalculé sur la base de la production de plomb, jusqu'à la cessation d'activité.

Zinc de première fusion

Comme l'un des sites produisait à la fois du plomb et du zinc de première fusion, les émissions de TSP étaient réparties au prorata des productions. Jusqu'en 2002, le facteur d'émission est recalculé sur la base de la production de zinc des deux sites producteurs. Depuis 2003, le facteur d'émission a fortement diminué suite à la fermeture d'un site et du fait des efforts de réduction des industriels.

**Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Les émissions de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont déterminées sur la base d'une granulométrie provenant de la littérature [227]. Faute de valeur disponible, le facteur d'émission pour les PM<sub>1,0</sub> est supposé identique à celui des PM<sub>2,5</sub>.

**Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>, ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1079]. La valeur retenue pour la combustion dans la métallurgie est celle indiquée pour la production d'aluminium secondaire (table 3.4).

**Métaux lourds (ML)**

Les productions de plomb et de zinc sont émettrices de certains métaux lourds décrits ci-dessous. Dans les deux cas, il n'y pas de données disponibles sur les autres métaux qui sont sans doute émis au niveau de traces et donc en quantité considérée négligeable.

Les facteurs d'émission tirés de la littérature [70] sont confidentiels compte tenu du nombre réduit de sites concernés. Ils tiennent compte, le cas échéant des différents procédés mis en œuvre. Les facteurs d'émission moyens peuvent donc pour certains métaux évoluer au cours des années.

Plomb de première fusion

La production de plomb de première fusion émet six des métaux lourds référencés dans le SNIEBA : l'arsenic, le cadmium, le cuivre, le mercure, le plomb et le zinc. Les émissions de ces substances sont estimées sur la base de facteurs d'émission moyens issus de la littérature [70] et appliqués à toutes les années.

Il n'y a plus de production de plomb de première fusion en France depuis 2003.

Zinc de première fusion

La production de zinc de première fusion émet du cadmium, du mercure, du plomb et du zinc. Du fait des procédés différents utilisés sur les deux sites français (hydro-métallurgie et raffinage thermolytique), des facteurs d'émission moyens pondérés sont recalculés pour ces substances sur la base de la production respective de chacun des procédés et des

facteurs d'émission spécifiques associés. Depuis 2003, la production de zinc de première fusion se fait uniquement par hydrométallurgie. Les facteurs d'émission sont issus de la littérature [70] et appliqués à toutes les années.

#### ***Dioxines et furanes (PCDD-F)***

Les productions de plomb et de zinc de première fusion émettent des dioxines et furanes. Les émissions éventuelles d'autres polluants organiques persistants ne sont pas comptabilisées faute de données disponibles. Les facteurs d'émission sont confidentiels compte tenu du nombre réduit de sites concernés.

##### Plomb de première fusion

Les émissions sont estimées sur la base d'un facteur d'émission moyen tiré de la littérature [70] et appliqué à toutes les années.

##### Zinc de première fusion

Jusqu'en 2003, du fait des procédés différents utilisés (hydro-métallurgie et raffinage thermolytique), un facteur d'émission moyen pondéré est recalculé sur la base de la production respective de chacun des procédés et des facteurs d'émission spécifiques associés. Depuis 2003, la production de zinc de première fusion se fait uniquement par hydrométallurgie. Les facteurs d'émission sont tirés de la littérature [70].

#### ***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Les émissions de HAP sont considérées négligeables.

#### ***Polychlorobiphényles (PCB)***

##### Plomb de première fusion

Les émissions de PCB sont estimées à partir d'un facteur d'émission tiré du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1001].

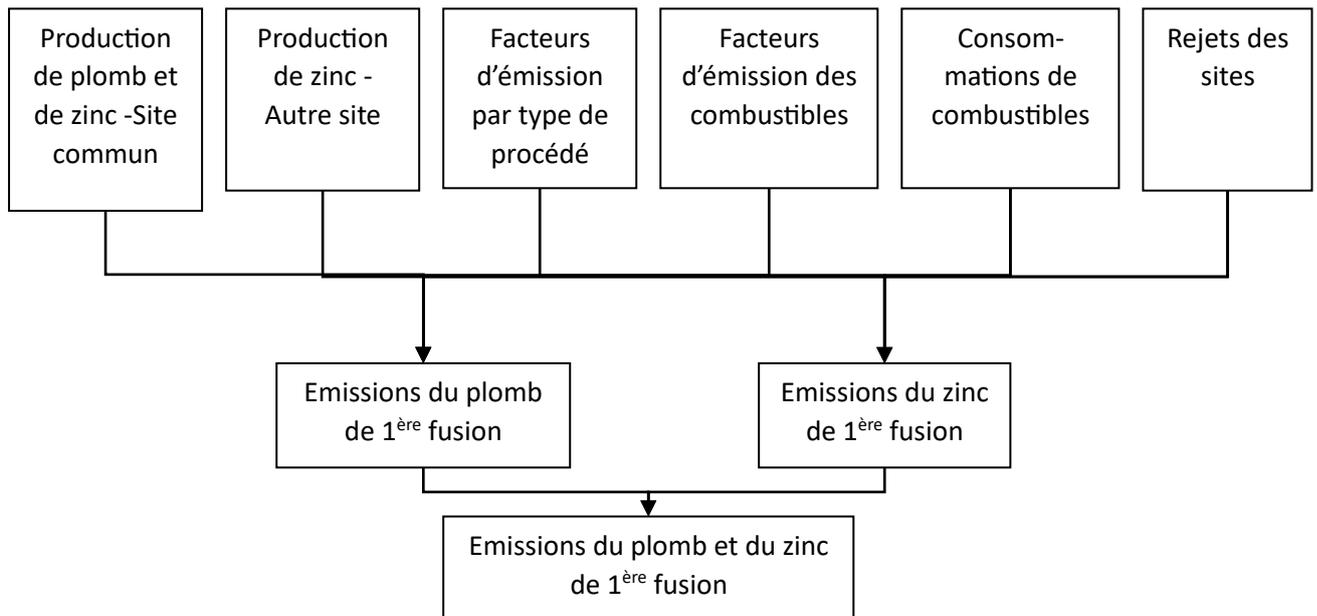
##### Zinc de première fusion

Les émissions de PCB sont estimées à partir d'un facteur d'émission tiré du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1002].

#### ***Hexachlorobenzène (HCB)***

Les émissions de HCB sont estimées à partir des consommations de combustibles et de facteurs d'émission tirés du Guidebook EMEP/EEA 2019 (tables 3.1 à 3.5) [1081].

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
31/01/2024	NSL	14/02/2024	JV

## PRODUCTION D'ALUMINIUM DE SECONDE FUSION

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.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1A2b
CEE-NU / NFR	1A2b
SNAPc (extension CITEPA)	030310
CE / directive IED	2.5
CE / E-PRTR	2eii
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Volumes de production (pour les polluants hors GES)	Valeurs calculées à partir des émissions et de l'activité
Consommations de combustibles (pour les GES suivants : CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> )	Valeurs nationales et par défaut

### Niveau de méthode :

Rang 2 et 3.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [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)
- [42] OFEFP - Coefficients d'émission des sources stationnaires, éditions 1995 et 2000
- [68] OFEFP - Mesures pour la réduction des émissions de PM<sub>10</sub>. Document environnement n° 136, juin 2001
- [70] Citepa - BOUSCAREN R. - Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996
- [74] EMEP MSC EAST - Note technique 6/2000
- [107] BICOCHI S., L'HOSPITALIER C. - Les techniques de dépoussiérage des fumées industrielles, état de l'art - RECORD, éditions TEC et DOC - mars 2002
- [163] UK fine particulate - Emissions from industrial processes, août 2000

[623] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 2, Table 2.3 (combustion stationnaire)

[1079] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2C3 Aluminium production

[1081] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 1A2 Manufacturing industries

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Outre la 1<sup>ère</sup> 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'écémage, laitiers salés, etc.), par l'industrie de 2<sup>nde</sup> 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.

### Méthode générale d'estimation des émissions :

De 1999 à 2010, les données de consommation de combustibles proviennent des enquêtes EACEI [26]. Pour les années antérieures, de 1990 à 1998, les étapes et hypothèses suivantes sont suivies :

1. Estimation d'un ratio énergie/production (GJ combustible/t Al produit) sur la base des données de consommation d'énergie et de production des sites pour lesquels ces deux types de données sont disponibles (de 2003 à 2010) ;
2. Application du ratio calculé pour 2003 aux productions d'aluminium secondaire (t) pour les années 1990 à 1998, afin d'obtenir la consommation énergétique totale (en GJ) ;
3. Application de la répartition de la consommation totale entre les consommations des différents combustibles consommés en 1999 aux consommations totales de 1990 à 1998, afin d'obtenir les consommations par type de combustible.

A partir de 2011, les données de consommations ne sont plus disponibles. Par conséquent, la consommation globale annuelle est estimée en suivant les étapes 1 à 3 ci-dessus, à la différence près que le ratio utilisé à partir de 2011 est le ratio moyen des années 2003 à 2010. De plus, la répartition des consommations de combustibles de 2010 est appliquée pour les années à partir de 2011.

Les rejets atmosphériques proviennent essentiellement de la combustion de combustibles dans les fours de fusion. Les émissions sont déterminées à partir des données disponibles dans les déclarations annuelles des rejets des exploitants depuis 2003 [19]. Des facteurs d'émission issus des lignes directrices du GIEC 2006 [623] et de la littérature sont utilisés pour les années antérieures ou pour pallier l'absence d'information pour certains sites [42, 68]. Les données sur la série temporelle sont cohérentes.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont calculées à partir des consommations de combustibles utilisées pour la production d'aluminium de seconde fusion [26] et des facteurs d'émission nationaux par combustible (cf section générale énergie).

#### **Emissions de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O**

Les émissions de CH<sub>4</sub> sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission par combustible provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623].

### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la seconde fusion de l'aluminium.

### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions de SO<sub>2</sub> sont calculées sur la base des déclarations annuelles des rejets [19] à partir de 2003.

Pour les années antérieures, le facteur d'émission de l'année 1960 provient de la littérature [42] et les années intermédiaires sont interpolées. Les émissions des sites manquants sont déterminées en utilisant le facteur d'émission des sites connus si ceux-ci représentent plus de 60% de la production.

#### **Emissions de NO<sub>x</sub> et COVNM**

Les émissions de NO<sub>x</sub> et COVNM sont calculées sur la base des déclarations annuelles des rejets [19] à partir de 2003. Pour les années antérieures, les émissions sont déterminées en utilisant le facteur d'émission de 2003.

Les émissions des sites manquants sont déterminées en utilisant le facteur d'émission des sites connus si ceux-ci représentent plus de 60% de la production.

#### **Emissions de CO**

A partir de 2003, les émissions de CO sont calculées sur la base des déclarations annuelles des rejets [19] ou à partir d'un facteur d'émission provenant de la littérature pour les sites manquants [42]. Le facteur par défaut de la littérature [42] est appliqué aux années antérieures.

#### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables.

#### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Les émissions de TSP sont calculées sur la base des déclarations annuelles des rejets [19] à partir de 2003.

Pour les années antérieures, le facteur d'émission de l'année 1990 provient de la littérature [68] et les années intermédiaires sont interpolées. Les émissions des sites manquants sont déterminées en utilisant le facteur d'émission des sites connus si ceux-ci représentent plus de 60% de la production.

La mise en place de système de dépoussiérage, tels que les filtres à manches et les électrofiltres, est de plus en plus fréquente.

#### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Le facteur d'émission des PM<sub>10</sub> est tiré de la littérature pour l'année 1990 [68]. Le ratio PM<sub>10</sub>/TSP est ensuite appliqué au facteur d'émission des TSP pour les années suivantes.

Pour les PM<sub>2,5</sub>, la littérature [163] fournit un pourcentage PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub>.

La part des PM<sub>1,0</sub> au sein des TSP est tirée de la littérature également [107].

### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>, ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1079]. La valeur retenue pour la combustion dans la métallurgie est celle indiquée pour la production d'aluminium secondaire (table 3.4).

### **Métaux lourds (ML)**

#### A partir de 2003

Les émissions de l'ensemble des métaux lourds sont calculées sur la base des déclarations annuelles des rejets [19] à partir de 2003, sauf pour le sélénium dont le facteur d'émission issu de la littérature [70] est appliqué pour toute la période. Les émissions des sites manquants sont déterminées en utilisant le facteur d'émission des sites connus si ceux-ci représentent plus de 60% de la production ou en utilisant un facteur d'émission de la littérature [70] pour l'arsenic et le cadmium.

#### Avant 2003

Pour l'arsenic et le cadmium, les facteurs d'émission sont issus de la littérature [70] et gardés constants car ils correspondent aux facteurs des déclarations.

Pour le chrome, le cuivre, le plomb et le zinc, le facteur d'émission est indexé sur l'évolution du facteur d'émission des poussières totales.

Le facteur d'émission du nickel provient de la littérature [70] pour l'année 1990 ; les années intermédiaires sont interpolées.

Pour le mercure, la valeur de 2002, calculée sur la base d'une moyenne des facteurs d'émission 2003-2011, est reportée. En effet, le mercure est, par nature, majoritairement présent sous forme gazeuse, et non particulaire comme la plupart des autres métaux lourds. Le facteur d'émission ne suit donc pas l'évolution des facteurs d'émission des poussières totales.

### **Dioxines et furannes (PCDD-F)**

Les émissions de dioxines et furannes sont connues site par site depuis 1998 au travers des déclarations annuelles des rejets [19]. Avant 1998, les émissions sont calculées en reportant les facteurs d'émission calculés site par site en 1998. Un facteur d'émission global pour chaque année est recalculé en appliquant un facteur d'émission moyen au reste de la production (pour les sites qui ne déclarent aucune émission de PCDD-F). Ce facteur d'émission moyen est déterminé à partir de la moyenne sur deux années consécutives des facteurs d'émission connus, c'est-à-dire ceux calculés pour les sites qui déclarent leurs émissions et leurs productions.

### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Il n'y a pas d'émission de HAP attendue lors de la seconde fusion de l'aluminium.

### **Polychlorobiphényles (PCB)**

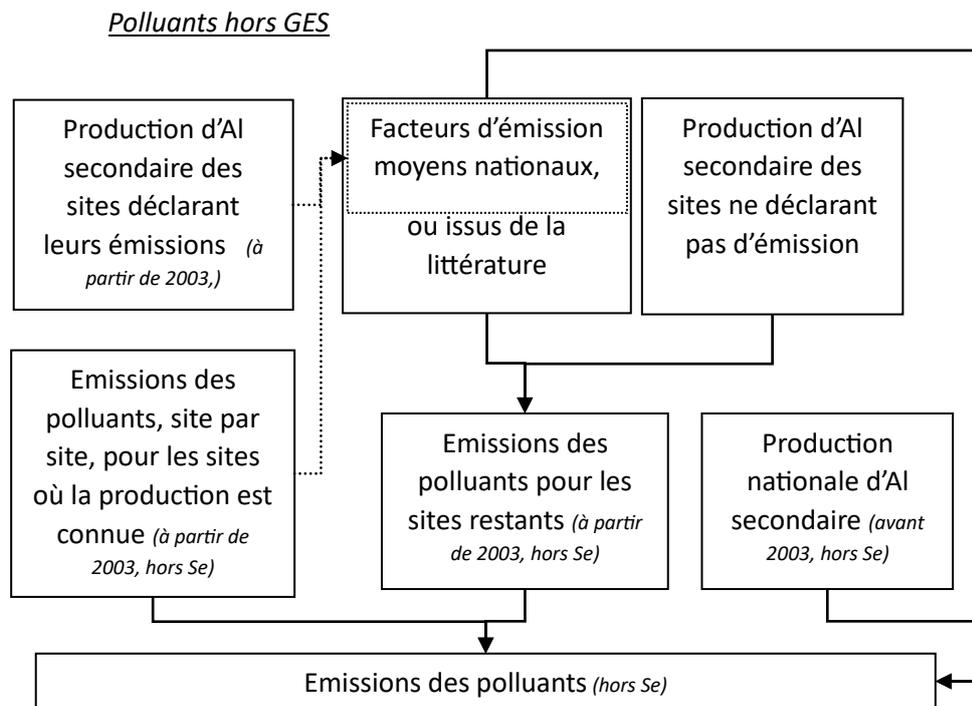
Il n'y a pas d'émission de PCB attendue lors de la seconde fusion de l'aluminium.

### **Hexachlorobenzène (HCB)**

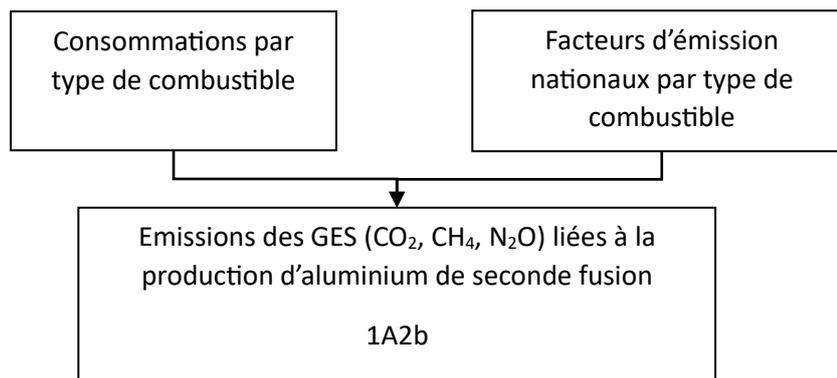
Les émissions de procédés sont déterminées à partir d'un facteur d'émission issu de la littérature [74]. A partir de 1994, la profession utilise un produit de substitution qui n'émet plus de HCB. Le facteur d'émission est donc nul à compter de 1994.

Les émissions de combustion sont estimées à partir des consommations de combustibles et de facteurs d'émission tirés du Guidebook EMEP/EEA 2019 (tables 3.1 à 3.5) [1081].

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



### GES



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
25/01/2021	MS	01/02/2021	JV

## PLOMB ET ZINC DE SECONDE FUSION

Les activités concernées sont :

- la production de plomb de seconde fusion,
- la production 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).

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1A2b
CEE-NU / NFR	1A2b
SNAPc (extension CITEPA)	030307 et 030308
CE / directive IED	2.5
CE / E-PRTR	2e
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Volumes de production et consommations de combustibles	Valeurs nationales et par défaut

### Niveau de méthode :

Rang 2.

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[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)

[53] SESSI / INSEE - Bulletin mensuel de statistique industrielle

[70] Citepa - BOUSCAREN R. - Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996

[223] Société de l'industrie minérale - Annuaire Statistique Mondial de Minerais et Métaux

- [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
- [460] Default emission factor Handbook 2nd edition - Janvier 1992 - Commission of European community
- [623] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 2, Table 2.3 (combustion stationnaire)
- [712] A3M - Communication de données annuelles relatives à la consommation de plomb
- [714] Recytech - Communications annuelles
- [744] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016, Part B section 2C Aluminium production
- [761] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016, section 1.A.2 Manufacturing industries and construction (combustion), tables 3-2 à 3-5
- [944] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016 - Chapter 1.A.2 Combustion in manufacturing industries and construction - Table 3-17
- [1001] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016 - Chapter 2.C.5
- [1002] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016 - Chapter 2.C.6
- [1079] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2C3 Aluminum production
- [1078] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2C5 Lead 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

## Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

### 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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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].

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

##### a/ 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).

##### b/ Zinc de seconde fusion

Les émissions sont calculées sur la base des consommations de combustibles [26] et des facteurs d'émission par combustible (cf. section générale énergie).

#### **Emissions de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O**

##### a/ 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.

##### b/ Zinc de seconde fusion

Les émissions sont calculées sur la base des consommations de combustibles [26] et des facteurs d'émission par combustibles provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623].

Le facteur d'émission ramené à la production varie selon le mix énergétique au cours de la période. Il est confidentiel compte tenu du nombre réduit de sites.

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

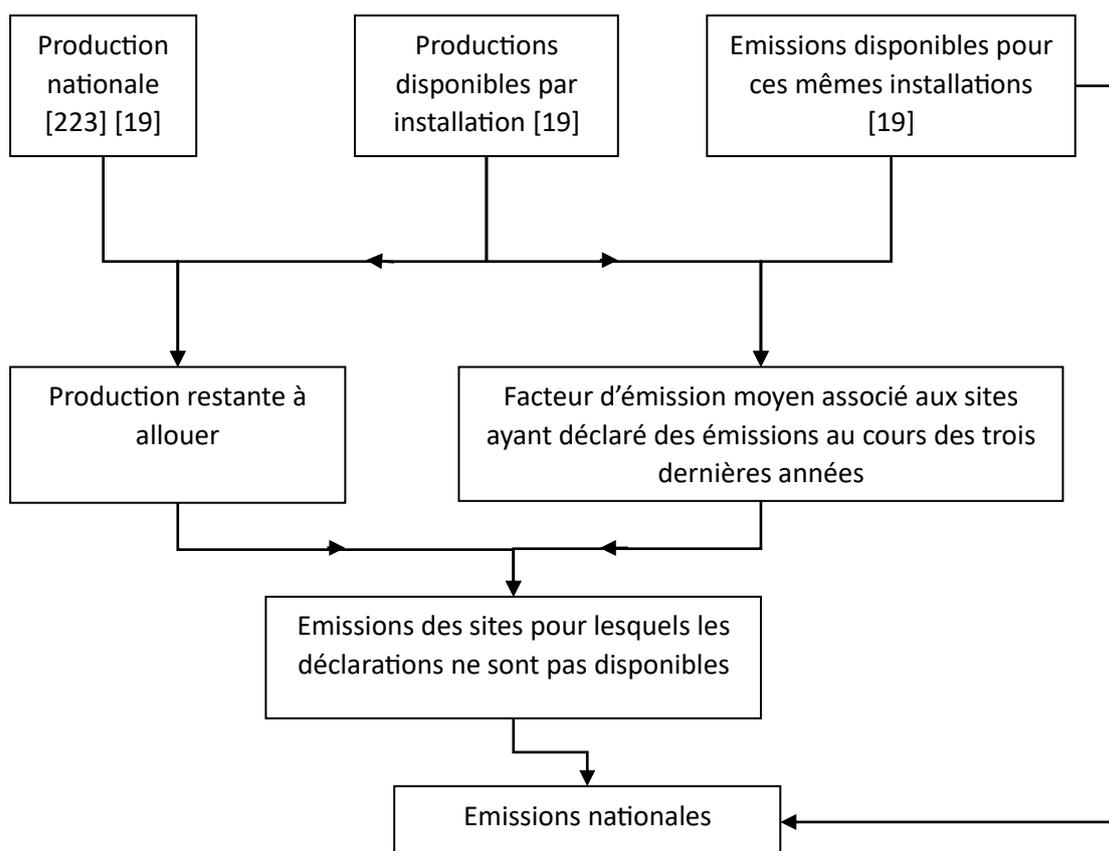
#### **Emissions de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et COVNM**

##### Plomb de seconde fusion

Deux méthodologies sont mises en œuvre en fonction de l'année car certaines données individuelles sont disponibles depuis 1995, notamment via les déclarations annuelles de polluants [19].

De 1990 à 1995, faute de données, le facteur d'émission moyen calculé à partir des émissions des années 1995 à 1997 [19], est appliqué à la production nationale.

A partir de 1995, les émissions déclarées pour certains sites, notamment via les déclarations annuelles de polluants [19], sont utilisées. Pour le reste de la production nationale, un facteur d'émission est déterminé chaque année à partir de la moyenne des émissions et productions connues des trois dernières années. Ce facteur d'émission est ensuite appliqué au solde de la production nationale. Le schéma suivant synthétise la méthodologie mise en œuvre à partir de 1995.



##### Zinc de seconde fusion

Les émissions sont issues des déclarations annuelles [19] pour un site et pour le reste de la production elles sont déterminées à partir :

- d'un facteur d'émission provenant du Guidebook EMEP/EEA pour les NO<sub>x</sub> (table 3-17) [1081];
- d'un facteur d'émission provenant d'un document de la Commission Européenne [460] pour les COVNM, car non estimé dans le Guidebook EMEP/EEA 2019;
- des consommations de combustibles [26] et des facteurs d'émission par combustible (cf. section générale énergie) pour le SO<sub>2</sub>. Le facteur d'émission ramené à la production varie selon le mix énergétique au cours de la période. Il est confidentiel compte tenu du nombre réduit de sites.

### **Emissions de CO**

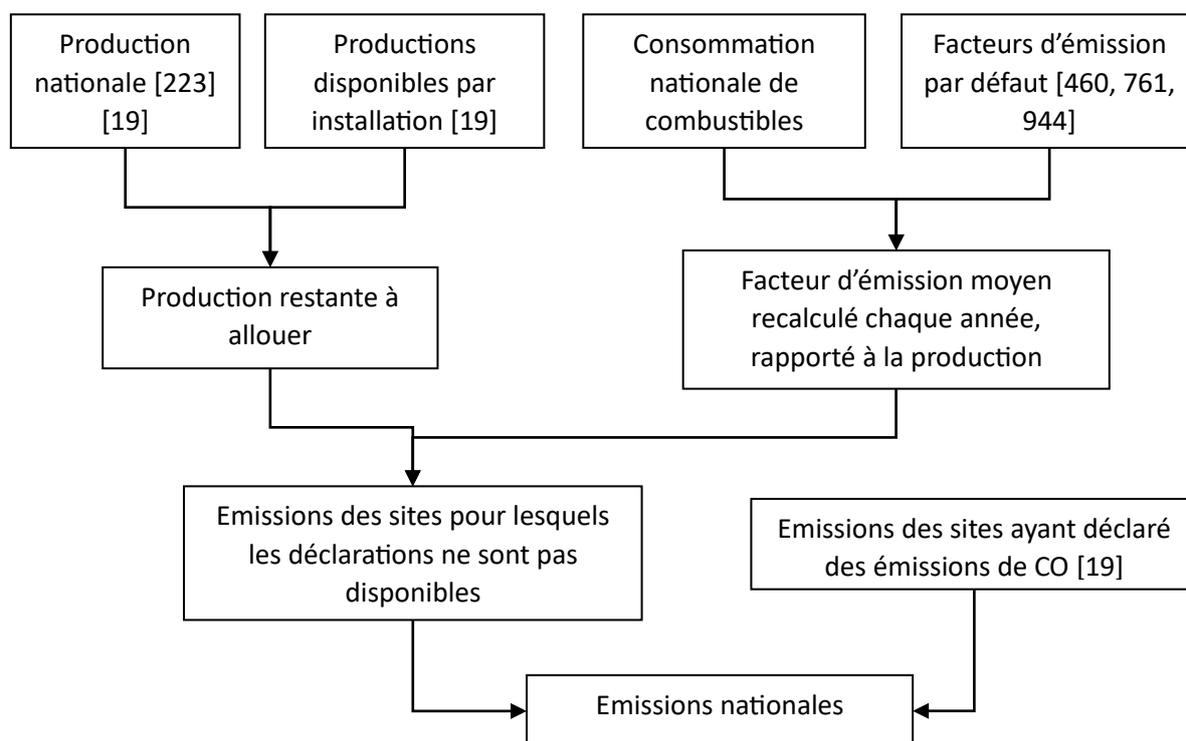
#### Plomb de seconde fusion

Deux méthodologies sont mises en œuvre en fonction de l'année car certaines données individuelles sont disponibles depuis 2003 via les déclarations annuelles de polluants [19].

De 1990 à 2002, faute de données disponibles, les émissions sont calculées sur la base des consommations de combustibles et des facteurs d'émission par défaut [1081].

A partir de 2003, les émissions déclarées pour certains sites, notamment via les déclarations annuelles de polluants [19], sont utilisées. Pour le reste de la production nationale, un facteur d'émission moyen est déterminé chaque année à partir des facteurs d'émission par défaut [1081] et des consommations de combustibles, rapporté à la production.

Le schéma suivant synthétise la méthodologie mise en œuvre à partir de 2003.



#### Zinc de seconde fusion

Les émissions sont basées sur des facteurs d'émission par défaut provenant de la littérature et confidentiels compte tenu du nombre réduit de sites.

**Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables.

**Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Pour le plomb de première fusion, les émissions de particules sont calculées sur la base des déclarations annuelles des rejets [19] à partir de 1998. La valeur de cette dernière année est appliquée aux années antérieures.

Pour le zinc de seconde fusion, les émissions de particules sont calculées sur la base des déclarations annuelles de rejets [19] à partir de 2004. Avant 2004, les facteurs d'émission proviennent de combinaisons de plusieurs facteurs d'émission reportés ou issus de rapports de l'administration, en fonction des sites. Les facteurs d'émission du zinc de seconde fusion sont confidentiels compte tenu du nombre réduit de sites.

**Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>1,0</sub>**

Les émissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>1,0</sub> sont calculées à partir d'une granulométrie issue de la revue JAPCA [227].

**Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>, ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1079]. La valeur retenue pour la combustion dans la métallurgie est celle indiquée pour la production d'aluminium secondaire (table 3.4).

**Métaux lourds (ML)**

La production de plomb de seconde fusion émet plusieurs des métaux lourds inventoriés dans le SNIEBA : arsenic, cadmium, plomb et zinc. La production de zinc de seconde fusion émet quant à elle de l'arsenic, du cadmium, du mercure, du plomb et du zinc.

**Plomb de seconde fusion**

Les émissions de plomb sont calculées sur la base d'une compilation des déclarations annuelles des sites [19] et sont utilisées pour déterminer un facteur d'émission basé sur la production nationale.

Concernant les émissions d'arsenic, de cadmium et de zinc, les déclarations annuelles de rejets [19] permettent un suivi et un calcul annuel des facteurs d'émission depuis 2004. Le facteur d'émission de l'année 1990 provient de la littérature [70] et le facteur d'émission des années intermédiaires est interpolé.

**Zinc de seconde fusion**

Les facteurs d'émission de l'arsenic, du cadmium, du mercure, du plomb et du zinc sont confidentiels compte tenu du nombre réduit de sites. Ils proviennent de la littérature et des déclarations annuelles de rejets [19].

**Dioxines et furanes (PCDD-F)**

Pour le plomb de seconde fusion, les déclarations annuelles de rejets [19] permettent un suivi et un calcul annuel des facteurs d'émission depuis 2004. Le facteur d'émission de l'année 1990 provient de la littérature [70] et le facteur d'émission des années intermédiaires est interpolé.

Pour le zinc de seconde fusion, le facteur d'émission provient de la littérature et des déclarations annuelles. Il est confidentiel compte tenu du nombre réduit de sites.

***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Les émissions de HAP sont considérées négligeables.

***Polychlorobiphényles (PCB)***

Plomb de seconde fusion

Les émissions de PCB sont estimées à partir d'un facteur d'émission tiré du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1078].

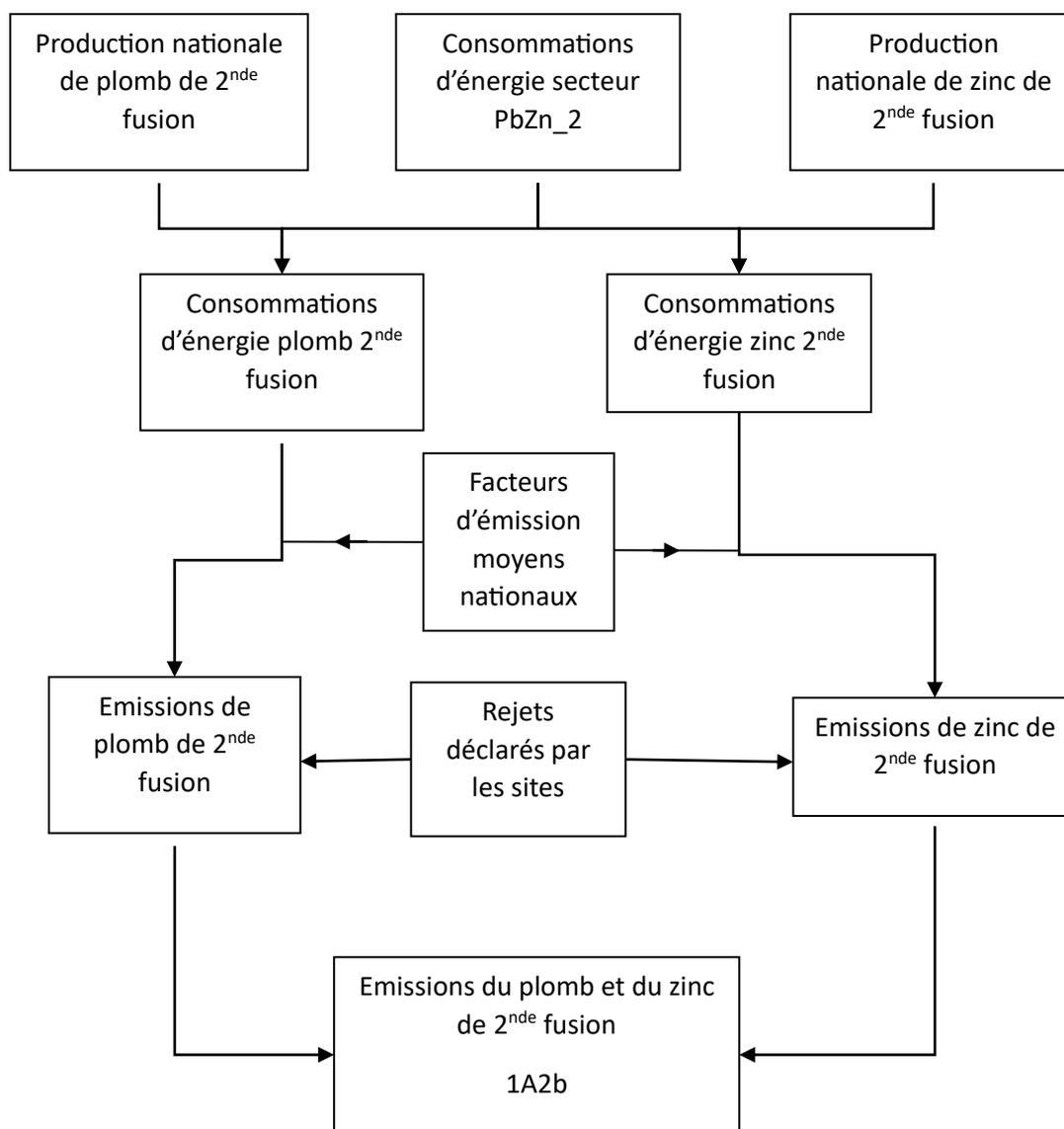
Zinc de seconde fusion

Les émissions de PCB sont estimées à partir d'un facteur d'émission tiré du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1080].

***Hexachlorobenzène (HCB)***

Les émissions de HCB sont estimées à partir des consommations de combustibles et de facteurs d'émission tirés du Guidebook EMEP/EEA 2019 (tables 3.1 à 3.5) [1081].

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
30/01/2024	CV/GB	15/02/2024	JV

## AUTRES FOURS

Cette section concerne les émissions provenant de la combustion de certains combustibles dans les fours de vapocraquage et dans les fours réalisant la synthèse d'ammoniac. La plus grande part des émissions est prise en compte dans les sections 2B10\_ethylene propylene et 2B1\_ammonia.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1A2c
CEE-NU / NFR	1A2c
SNAPc (extension CITEPA)	030205
CE / directive IED	1.1
CE / E-PRTR	1c
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up intégral (toutes les installations sont considérées)	Généralement spécifiques de chaque installation considérée individuellement concernant SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> et parfois NO <sub>x</sub> . Valeurs nationales ou par défaut pour les autres substances.

### Niveau de méthode :

Niveau supérieur ou égal à 2.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [22] Ministère de l'Environnement - Circulaire du 24 décembre 1990
- [414] EMEP/EEA - Emission Inventory Guidebook, Part B111(S1)-6, December 2006
- [623] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 2, Table 2.3 (combustion stationnaire)
- [771] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 3\_1\_Chapitre 1\_Introduction, Box 1.1
- [1232] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 1A2 Manufacturing industries and construction - table 3.3 Tier 1 emission factor for 1A2 combustion in industry using gaseous fuels
- [1233] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 1.A.1 Energy industries, table 3-5 Tier 1 emission factors for source category 1.A.1.a using heavy fuel oil

## Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Cette section se rapporte à deux types de procédés :

### a/ Combustion de certains combustibles dans les fours de vapocraquage :

Le vapocraquage est un procédé pétrochimique qui consiste à obtenir, à partir d'une coupe pétrolière telle que le naphta ou des alcanes légers ( $C_nH_{2n+2}$ ) les produits suivants :

- des alcènes (aussi appelés oléfines) :  $C_nH_{2n}$  ; ex : éthylène ( $C_2H_4$ ), propylène ( $C_3H_6$ ), butène,
- des hydrocarbures aromatiques (cycliques insaturés) : benzène, toluène, xylène.

Les coupes pétrolières sont introduites en présence de vapeur d'eau (de l'ordre de 30 à 100 % en poids) dans le vapocraqueur qui possède une série de fours. Ce mélange est porté brutalement à 800°C pendant une fraction de seconde puis est très rapidement refroidi. Dans ces conditions, les molécules se scindent en plusieurs morceaux et donnent naissance à divers gaz (hydrogène, méthane, éthane, etc.), de l'éthylène, du propylène, du butadiène, de l'isobutène et d'autres produits insaturés.

Depuis octobre 2015, il reste six vapocraqueurs en activité, tous situés en métropole.

### b/ Combustion de gaz naturel dans les fours d'ammoniac :

La synthèse de l'ammoniac est réalisée par reformage à la vapeur à partir du gaz naturel (utilisé en tant que matière première). Une partie de la consommation de gaz naturel des fours d'ammoniac est brûlée pour apporter de la chaleur au procédé afin que la réaction chimique puisse avoir lieu. Ce sont les émissions (hors  $CO_2$ ) liées à cette consommation énergétique qui sont considérées dans cette section, celles liées à la consommation non-énergétique étant considérées en 2B1\_ammonia.

Il y avait, en France, 7 sites de production en activité en 1990. Depuis 2009, il reste 4 sites en activité suite à la fermeture de 2 sites courant 2001 et un autre courant 2009.

## Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

### a/ Combustion de certains combustibles 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 assez fine des émissions de la combustion pour la plupart des substances, notamment celles concourant à l'acidification et au changement climatique.

Les combustibles gazeux sont du gaz naturel (NAPFUE 301), des déchets industriels gazeux (NAPFUE 307, 308 et 314) et parfois des combustibles liquides (NAPFUE 225). Les émissions liées au gaz naturel et aux combustibles liquides sont prises en compte dans cette section mais les déchets industriels gazeux sont considérés dans la section 2B10\_éthylène propylène car il s'agit de sous-produits issus de la matière première introduite dans le vapocraqueur (naphta). Les émissions de ces sous-produits sont donc considérées dans la partie procédé comme le recommande les lignes directrices 2006 du GIEC [771].

### b/ Combustion de gaz naturel dans les fours d'ammoniac :

Les consommations énergétiques de gaz naturel des vaporeformeurs sont recensées à l'aide des déclarations à partir de 2004 [19]. Avant cette période, les consommations de la

production d'ammoniac sont estimées à partir des données déclarées pour l'année 2004 et des productions fournies par site.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### a/ Combustion de certains combustibles dans les fours de vapocraquage :

##### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. Les facteurs spécifiques déclarés par l'exploitant sont utilisés en priorité [19], notamment afin d'assurer la cohérence des données retenues pour l'inventaire avec celles déclarées au titre du SEQE, basées sur des mesures spécifiques. Lorsque l'exploitant ne donne pas de facteurs spécifiques, une moyenne du facteur d'émission par combustible et par site ou les valeurs nationales (par combustible) (cf. section générale énergie) sont appliquées.

##### **Emissions de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O**

Sur l'ensemble de la période, les émissions de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623].

##### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

#### b/ Combustion de gaz naturel dans les fours d'ammoniac :

##### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Conformément aux lignes directrices du GIEC 2006 et 2019, les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la consommation de gaz naturel, énergétique et non énergétique, dans les vaporeformeurs, sont considérées dans la partie procédé de la production d'ammoniac, c'est-à-dire en CRF 2B1\_ammonia.

##### **Emissions de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O**

Sur l'ensemble de la période, les émissions de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs au gaz naturel provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623].

##### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion du gaz naturel.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### a/ Combustion de certains combustibles dans les fours de vapocraquage :

##### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions de SO<sub>2</sub> sont induites par la consommation des combustibles. Les émissions des vapocraqueurs sont le plus souvent déterminées par mesure directe et/ou à partir du bilan soufre établi sur la base des consommations de combustibles et de leurs teneurs en soufre

recensées chaque année et généralement suivies en continu ou avec une fréquence élevée [19]. Lorsqu'une valeur spécifique manque pour un paramètre donné, la valeur de l'année précédente ou une valeur d'une installation analogue est utilisée.

### ***Emissions de NOx***

Les émissions sont déterminées à partir d'une mesure ou au moyen de facteurs d'émission tirés de la littérature [22] ou de la section générale énergie.

### ***Emissions de COVNM et CO***

Les émissions de COVNM et de CO sont déterminées à partir des facteurs d'émission par combustible (cf. section générale énergie).

### ***Emissions de NH3***

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables.

### ***Emissions de poussières totales en suspension (TSP, PM10, PM2,5, PM1,0)***

Les émissions de poussières totales en suspension sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

Les émissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>1,0</sub> sont déterminées à l'aide de ratios granulométriques issus d'une combinaison de systèmes de dépoussiérage (cf. section générale énergie).

### ***Emissions de carbone suie / black carbon (BC)***

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio provient des références [756] et [768].

Les ratios retenus dépendent du type de combustible :

- 5,6% pour les combustibles liquides,
- 4% pour le gaz naturel.

### ***Métaux lourds (ML)***

Les émissions de l'ensemble des métaux lourds sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années (cf. section générale énergie).

### ***Dioxines et furanes (PCDD-F)***

Les émissions de dioxines et furanes sont déterminées à partir des consommations [19] et au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

### ***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Les émissions de HAP sont déterminées à partir des consommations [19] et au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

### ***Polychlorobiphényles (PCB)***

Il n'y a pas d'émission de PCB puisque les facteurs d'émission relatifs à chaque combustible sont nuls (cf. section générale énergie).

### ***Hexachlorobenzène (HCB)***

Les émissions de HCB sont supposées négligeables.

b/ Combustion de gaz naturel dans les fours d'ammoniac :

***Emissions de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM et CO***

Les émissions de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM et CO sont déterminées à partir des facteurs d'émission du gaz naturel de la section générale énergie.

***Emissions de NH<sub>3</sub>***

Les émissions de NH<sub>3</sub> de la combustion de gaz naturel sont supposées négligeables.

***Emissions de poussières totales en suspension (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>)***

Les émissions de poussières totales en suspension sont déterminées à partir du facteur d'émission relatif au gaz naturel (cf. section générale énergie).

Dans le cas du gaz naturel, les facteurs d'émission de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> proviennent du Guidebook EMEP / EEA [414] : le facteur d'émission utilisé est le même que pour les particules totales.

***Emissions de carbone suie / black carbon (BC)***

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio provient du guide EMEP / EEA [1232]. Le ratio retenu pour le gaz naturel est de 4%.

***Métaux lourds (ML)***

Les émissions de l'ensemble des métaux lourds sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs au gaz naturel, supposés constants au cours des années (cf. section générale énergie).

***Dioxines et furanes (PCDD-F)***

Les émissions de dioxines et furanes sont déterminées à partir du facteur d'émission relatif au gaz naturel (cf. section générale énergie).

***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Les émissions de HAP sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs au gaz naturel (cf. section générale énergie).

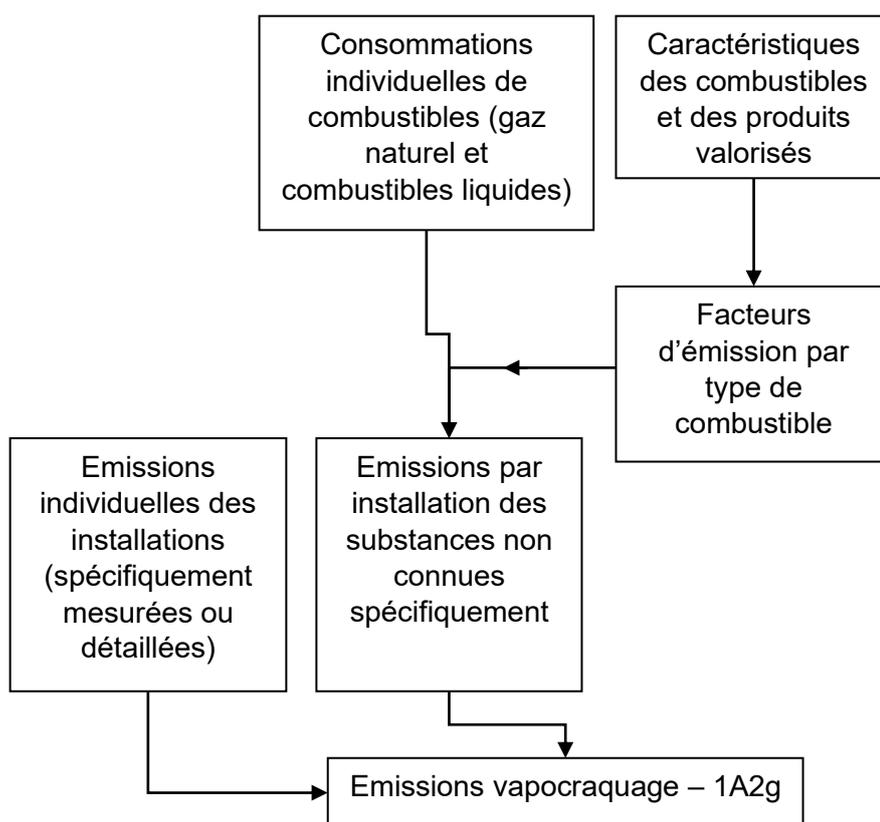
***Polychlorobiphényles (PCB)***

Les émissions de PCB de la combustion de gaz naturel sont supposées négligeables.

***Hexachlorobenzène (HCB)***

Les émissions de HCB de la combustion de gaz naturel sont supposées négligeables.

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
06/02/2024	RK	14/02/2024	JV

## PRODUCTION DE PRODUITS DE FOURRAGE VERT DESHYDRATE (COMBUSTION)

Ce paragraphe permet d'introduire le calcul des émissions liées à la combustion pour la production de produits de fourrage vert déshydraté.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1A2e
CEE-NU / NFR	1A2e
SNAPc (extension CITEPA)	030326
CE / directive IED	6.4.b.ii) (traitement et transformation uniquement de matières premières végétales, avec une capacité de production supérieure à 300 tonnes de produits finis par jour ou 600 tonnes par jour lorsque l'installation fonctionne pendant une durée maximale de 90 jours consécutifs en un an)
CE / E-PRTR	8bii (d'une capacité de production de produits finis de 300 tonnes par jour (valeur moyenne sur une base trimestrielle))
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production de produits déshydratés ou consommation énergétique du secteur	Généralement spécifiques de chaque installation considérée individuellement. Données nationales ou par défaut

### Niveau de méthode :

Rang 1, 2 ou 3 selon les polluants.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [776] Communication personnelle de la Coopération Agricole 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 à jour du facteur d'émission des COVNM des installations de déshydratation de fourrage utilisé dans le cadre de l'arrêté GEREP - Etude Citepa pour la Coopération Agricole de France - Avril 2016 - ETUDE CONFIDENTIELLE

[780] Compte rendu du Citepa (Laëtitia SERVEAU) de la réunion dans les locaux de la Coopération Agricole de France déshydratation avec Yann MARTINET du 24 août 2016

[781] Données communiquées par la Coopération Agricole de France déshydratation (Yann MARTINET) par mail le 20 juillet 2016

[782] Mail reçu de la Coopération Agricole de France déshydratation (Yann MARTINET) du 24/08/2016 sur deux rapports d'essai réalisés sur les particules en termes de granulométrie - ETUDE CONFIDENTIELLE

[1248] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1-a-4-small-combustion - Tables 3.42 - Tier 2 emission factors for NFR source category 1.A.4.b, using biomass

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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

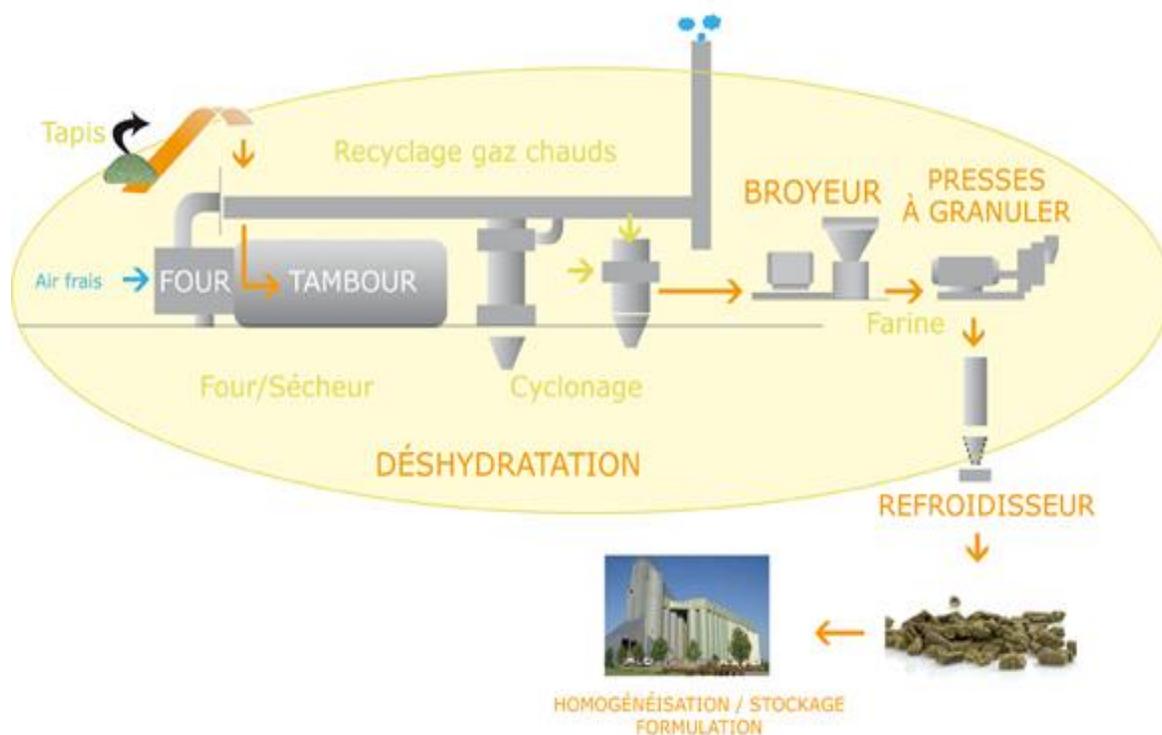
Le fourrage vert utilisé est essentiellement la luzerne puis la pulpe de betteraves et dans une moindres mesures d'autres produits. Les fourrages déshydratés se présentent sous forme de granulés ou de balles de fibres longues.

Les sécheurs fonctionnent actuellement au charbon, au lignite, à la biomasse ou au gaz naturel. La chaleur produite entre en contact avec le produit à sécher dans le sécheur (tambour rotatif).

Un important programme de substitution des énergies fossiles par des énergies renouvelables est mis en place dans la filière depuis ces dernières années, en parallèle de la quête perpétuelle de la réduction de la consommation énergétique.

Le schéma suivant présente le fonctionnement d'une usine de déshydratation de fourrage vert.

## La déshydratation de la luzerne



Source : [www.luzernes.org](http://www.luzernes.org)

Les sites de production de fourrage vert n'existent qu'en France métropolitaine. Ils sont au nombre de 26 en 2022.

## Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

Pour les gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub>), les émissions sont calculées sur la base de la consommation d'énergie annuelle par combustible.

### Données relatives à la production

De 1990 à aujourd'hui, les données de production de fourrage vert sont des données communiquées par la fédération (La Coopération Agricole déshydratation) [776].

### Données relatives aux consommations de combustible

Les données de consommation d'énergie sont connues pour les trois catégories de produits déshydratés : pulpes de betterave, luzerne et autres produits.

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

A partir de 2013, même si ces données sont disponibles auprès de la Coopération Agricole déshydratation, afin d'assurer la totale cohérence avec le système quotas gaz à effet de serre, les consommations d'énergie proviennent des déclarations annuelles des industriels (la plupart des sites industriels sont soumis au système quotas mais tous les sites déclarent dans le cadre du système déclaratif E-PRTR) [19].

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

A partir de 2013, les données spécifiques d'émission de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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).

### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Pour toutes les années, les émissions de CH<sub>4</sub> sont estimées en multipliant la consommation par combustible par les facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie et la base de données OMINEA).

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Pour toutes les années, les émissions de N<sub>2</sub>O sont estimées en multipliant la consommation par combustible par les facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie et la base de données OMINEA).

### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Lors de la combustion, les oxydes de soufre sont en partie fixés par les produits de fourrage vert et non émis à l'atmosphère, selon une étude de la profession [777].

La Coopération Agricole déshydratation/LRD ont développé une méthode d'estimation des émissions de SO<sub>x</sub> faisant intervenir un facteur d'émission commun à tous les combustibles, affecté d'un facteur d'absorption (FA) spécifique au produit déshydraté [777].

Emissions SO<sub>2</sub> (t) = consommation combustible (GJ) x facteur d'émission nationaux SO<sub>2</sub> (g/GJ) x FA (%)

### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Lors de la combustion, les oxydes d'azote sont en partie fixés par les produits de fourrage vert et non émis à l'atmosphère, selon une étude de la profession [777].

La Coopération Agricole déshydratation/LRD ont développé une méthode d'estimation des émissions de NO<sub>x</sub> faisant intervenir un facteur d'émission commun à tous les combustibles, affecté d'un facteur d'absorption (FA) spécifique au produit déshydraté [777].

Emissions NO<sub>x</sub> (t) = consommation combustible (GJ) x facteur d'émission nationaux NO<sub>x</sub> (g/GJ) x FA (%)

### **Emissions de COVNM**

Les composés organiques volatiles non méthaniques sont un cas particulier puisque, selon une étude de 2010 réalisée par le CITEPA pour la profession, environ 90% des émissions atmosphériques proviennent des produits séchés (biogéniques) et seulement 10% de la combustion de combustibles [778]. De plus, les campagnes de mesure montrent que les facteurs d'émission sont équivalents d'un produit à l'autre [778].

Par ailleurs, à partir de 2008 [778], le secteur a mis en place la technique du préfanage à plat dans les champs qui permet de diminuer les émissions de COVNM. En outre, l'accroissement du taux de matière sèche due au préfanage à plat est susceptible de modifier les conditions de séchage, notamment la quantité de COVNM émis [778].

#### Période avant 2008

Avant 2008, la technique du préfanage à plat n'était pas mise en œuvre. L'étude réalisée en 2010 par le Citepa pour le compte de la Coopération Agricole France/LRD [778] sur la base de résultats de mesures disponibles avant 2008 définit un facteur d'émission pour les COVNM qui ne tient pas compte de la technique de préfanage à plat.

#### Période après 2012

Après 2012, la technique du préfanage à plat est généralisée sur l'ensemble des exploitations. L'étude réalisée en 2021 par le CITEPA pour le compte de la Coopération Agricole France/LRD [777], sur la base des campagnes de mesures menées sur différentes installations de déshydratation de fourrage après 2012, définit un facteur d'émission pour les COVNM en tenant compte de la technique du préfanage à plat. Le facteur d'émission retenu pour les COVNM est égal à 0,5 kg/t.

#### Période intermédiaire entre 2009-2011

Sur la période 2009-2011, une interpolation linéaire du facteur d'émission de COVNM est appliquée.

### **Emissions de CO**

Sur l'ensemble de la période, les émissions de CO sont estimées en multipliant la consommation par combustible par les facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

D'après l'étude faite par le Citepa pour la Coopération Agricole de France déshydratation/LRD [777], il est supposé que s'il existe, le niveau d'émission de NH<sub>3</sub> est faible, sauf pour la biomasse.

A partir de 2021, et sur l'ensemble de la période, les émissions de NH<sub>3</sub> sont estimées pour la biomasse en multipliant la consommation du combustible par le facteur d'émission par défaut issu du guide EMEP/EEA 2019 [1248].

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

D'après les données de la profession [780], le premier cyclone a été installé en 1985. De 1985 à 1997, seuls des cyclones étaient installés. D'après les données de la profession [781], les cyclones performaient entre 400 et 500 mg/m<sup>3</sup>.

Depuis 1997, il s'agit d'un mix filtre à manche et cyclone sur les sites industriels.

De plus, actuellement, le niveau respecté par les industriels en termes de particules est de 150 mg/m<sup>3</sup> [780].

Ainsi, la méthode retenue est la suivante :

- de 1990 à 1997, on retient le fait que les concentrations respectaient la valeur de 400 mg/m<sup>3</sup>. En 2015 (émission retenue correspond aux émissions déclarées par les industriels [19]), le niveau respecté est de 150 mg/m<sup>3</sup>, on recalcule le facteur d'émission pour la période 1990-1997.
- de 1998 à 2002, on applique une décroissance linéaire sur le facteur d'émission car les sites se sont équipés au fur et à mesure de technique de réduction.
- depuis 2003, on utilise les déclarations individuelles GEREP [19].

### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

La Coopération Agricole France déshydratation a réalisé deux rapports d'essai sur la granulométrie des particules [782].

Les ratios à appliquer aux facteurs d'émission des particules totales, quelle que soit l'année considérée, le combustible et le fourrage vert utilisés, sont les suivants :

<i>tranche granulométrique</i>	<i>% répartition des TSP</i>
PM <sub>10</sub>	26
PM <sub>2,5</sub>	6
PM <sub>1,0</sub>	0,7

***Emissions de carbone suie / black carbon (BC)***

Les émissions de black carbon ne sont pas estimées actuellement, du fait du manque de données pour quantifier les émissions spécifiques à cette activité.

***Métaux lourds (ML)***

Sur l'ensemble de la période, les émissions de chacun des métaux lourds sont estimées en multipliant la consommation par combustible par les facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

***Dioxines et furannes (PCDD-F)***

Sur l'ensemble de la période, les émissions de PCDD-F sont estimées en multipliant la consommation par combustible par les facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Sur l'ensemble de la période, les émissions de chacun des HAP pris en compte dans le cadre de la CEE-NU et de la directive NEC sont estimées en multipliant la consommation par combustible par les facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

***Polychlorobiphényles (PCB)***

Sur l'ensemble de la période, les émissions de PCB sont estimées en multipliant la consommation par combustible par les facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

***Hexachlorobenzène (HCB)***

Sur l'ensemble de la période, les émissions de HCB sont estimées en multipliant la consommation par combustible par les facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
01/12/2022	EF	29/01/2023	JV

## PRODUCTION DE CIMENT (COMBUSTION)

Ce paragraphe permet d'introduire le calcul des émissions liées à la combustion pour la production de ciment.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1A2f
CEE-NU / NFR	1A2f
SNAPc (extension CITEPA)	030311
CE / directive IED	3.1 (installations avec des fours rotatifs de capacité de production supérieure à 500 tonnes par jour)
CE / E-PRTR	3ci et iii
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production de clinker ou consommation énergétique du secteur	Généralement spécifiques de chaque installation considérée individuellement. Valeurs nationales pour certaines années.

### Niveau de méthode :

Rang GIEC 2 ou 3 pour le CO<sub>2</sub> selon les années et du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations.

Rang GIEC 1 pour le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [28] ATILH - Statistiques énergétiques annuelles de la profession cimentière
- [218] SFIC (Syndicat Français de l'Industrie Cimentière) - données annuelles de production de clinker
- [273] ATILH - Communication spécifique relative aux facteurs d'émission de métaux lourds et de particules, août 2006
- [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
- [399] ATILH - données internes communiquées le 28 octobre 2005 relatives à l'estimation du facteur d'émission de NH<sub>3</sub> dans les cimenteries

[754] US EPA - AP 42 - 5ème édition, Volume 1 - Chapter 11.6 : portland cement manufacturing

[1064] EMEP/EEA air pollutant emissions inventory guidebook 2019, section 2A1 Cement production - table 3.1

[1065] EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook - table 3-24 - cement production - 1A2, Edition 2019

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

Pour les gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub>), 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 CO<sub>2</sub>**

A partir de 2005, les données spécifiques d'émission de CO<sub>2</sub> disponibles par l'intermédiaire des déclarations des émissions sont utilisées que ce soit dans le cadre du système d'échanges des quotas d'émissions (SEQE) ou non (le même dispositif de déclaration servant au SEQE et à l'E-PRTR) [19].

Jusqu'en 2004 inclus, les émissions de CO<sub>2</sub> 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<sup>ère</sup> période du SEQE), à partir des déclarations des émissions par combustible [19].

### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Pour toutes les années, les émissions de CH<sub>4</sub> sont estimées à partir des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Pour toutes les années, les émissions de N<sub>2</sub>O sont estimées à partir des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

Pour les polluants hors gaz à effet de serre, la production nationale annuelle de clinker est utilisée [218] pour déterminer les émissions de polluants jusqu'en 2004. A partir de 2005, la production nationale correspond à la somme des productions déclarées par les cimentiers.

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

La méthode par bilan ne peut pas être utilisée dans le secteur de la cimenterie car le soufre contenu dans les combustibles et/ou dans les matières premières est en partie capté par le clinker. Les émissions de SO<sub>2</sub> des installations sont donc déterminées par mesure directe [19].

La méthodologie de calcul des émissions de SO<sub>2</sub> pour le secteur des cimenteries est la suivante :

- Depuis 1994, les émissions nationales correspondent à la somme des émissions de SO<sub>2</sub> de l'ensemble des installations de production de ciment. Toutefois, lorsqu'une valeur d'émission spécifique manque, la valeur de l'année précédente ou une valeur d'une installation analogue est utilisée.
- Avant 1994, le plus ancien facteur d'émission estimé sur une base individuelle est relatif à l'année 1994 (FE 94r). Cette même année, le facteur d'émission déduit des combustibles utilisés a été estimé à partir des consommations nationales et des facteurs d'émission nationaux associés (cf. section générale énergie) (FE 94c). Ces données sont rapprochées de la production nationale. Le facteur d'émission relatif à une année N (FE Nr) est déterminé selon la formule suivante à partir du facteur d'émission déduit des combustibles cette même année (FE Nc) :

$$FE Nr = ( FE 94r / FE 94c ) \times FE Nc$$

Les fluctuations du facteur d'émission sont liées à la variation de la teneur en soufre des matières premières, en particulier l'argile, et des combustibles utilisés. La présence sur certaines installations de dispositifs d'abattement des SO<sub>x</sub> explique la tendance à la réduction des émissions sur la période.

### **Emissions de NOx**

Les émissions déclarées par installation sont déterminées principalement par mesure en continu [19].

La méthodologie mise en œuvre est la suivante :

- Depuis 1994, les émissions nationales correspondent à la somme des émissions de NOx de l'ensemble des installations de production de ciment. Toutefois, lorsqu'une valeur d'émission spécifique manque, la valeur de l'année précédente ou une valeur d'une installation analogue est utilisée.
- Avant 1994, le facteur d'émission utilisé correspond à la moyenne des facteurs d'émission des années 1994 à 1996.

Globalement, sur l'ensemble de la période, la baisse du facteur d'émission s'explique par la mise en place d'équipements de réduction des NOx (i.e. SNCR - Réduction Sélective Non Catalytique) sur plus de la moitié des installations. Toutefois, les pics observés certaines années proviennent des fluctuations de la composition des matières entrantes dans le procédé.

### **Emissions de COVNM**

Les émissions déclarées par installation sont déterminées par mesure en continu ou ponctuelle [19].

La méthodologie mise en œuvre est la suivante :

- Depuis 1994, les émissions nationales correspondent à la somme des émissions de COVNM de l'ensemble des installations de production de ciment. Toutefois, lorsqu'une valeur d'émission spécifique manque, la valeur de l'année précédente ou une valeur d'une installation analogue est utilisée.
- Avant 1994, le facteur d'émission utilisé correspond à la moyenne des facteurs d'émission des années 1994 à 1996.

### **Emissions de CO**

Les émissions déclarées par installation sont déterminées par mesure en continu ou ponctuelle [19].

La méthodologie mise en œuvre est la suivante :

- A partir de 2002, les émissions nationales correspondent à la somme des émissions de CO de l'ensemble des installations de production de ciment. Toutefois, lorsqu'une valeur d'émission spécifique manque, le facteur d'émission retenu est celui du Guidebook EMEP/EEA [1065].
- Avant 2002, le facteur d'émission utilisé correspond à celui déterminé pour l'année 2002.

### **Emissions de NH3**

Les émissions de NH<sub>3</sub> proviennent de l'azote contenu dans les combustibles ou dans la matière première ainsi que des éventuelles fuites liées à l'utilisation des techniques d'abattement des NOx mises en place.

Avant 2004, le facteur d'émission utilisé est celui proposé par l'ATILH [399], fixé à 19 g/t clinker.

A partir de 2004, les émissions nationales correspondent à la somme des émissions de l'ensemble des cimenteries [19]. Toutefois, lorsqu'une valeur manque, le facteur d'émission retenu est celui fourni par l'ATILH (cf. ci-dessus).

L'augmentation sur le facteur d'émission résulte de la mise en œuvre progressive depuis 2006 de dispositifs de traitement secondaire des NOx.

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Le facteur d'émission est évolutif depuis 1990. En effet, la mise en place progressive de techniques de dépeussierage (électrofiltre, filtre à manches) et de procédures d'entretien (entretien des manches en particulier) dans le secteur des cimenteries a permis de réduire les émissions de particules.

A compter de 2001, les émissions nationales correspondent à la somme des émissions de l'ensemble des installations de production de ciment [19]. Toutefois, lorsqu'une valeur d'émission spécifique manque, la valeur de l'année précédente est reportée ou une valeur d'une installation analogue est utilisée.

Avant 2001, des facteurs d'émission communiqués par la profession ont été utilisés [273].

Certaines fluctuations récentes du facteur d'émission s'expliquent par des dysfonctionnements de certains équipements sur un ou deux sites tels que : fonctionnement non optimal de l'électrofiltre d'un refroidisseur, fuite sur un filtre broyeur difficile à repérer et à réparer ainsi qu'un mauvais fonctionnement de filtres révisés lors d'un arrêt annuel.

### **Emissions de PM10, PM2,5, PM1,0**

Des ratios exprimés par rapport aux particules totales sont utilisés [301].

Les ratios à appliquer aux facteurs d'émission des particules totales, quelle que soit l'année considérée, sont les suivants :

<i>tranche granulométrique</i>	<i>% répartition des TSP</i>
PM <sub>10</sub>	90
PM <sub>2,5</sub>	70
PM <sub>1,0</sub>	59,5

### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de carbone suie sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Les émissions de BC représentent 3% des émissions de PM<sub>2,5</sub> [1064].

### **Métaux lourds (ML)**

A partir de 2003, les émissions nationales correspondent à la somme des émissions de l'ensemble des installations de production de ciment [19]. Toutefois, lorsqu'une valeur d'émission spécifique manque, la valeur de l'année précédente est reportée ou une valeur moyenne déduite des autres installations est utilisée.

Avant 2003, des facteurs d'émission communiqués par la profession ont été utilisés [273].

Pour le sélénium, un facteur d'émission constant est utilisé pour toutes les années [1065].

Les métaux lourds sont principalement introduits dans le procédé par les déchets qui sont recyclés, soit comme correcteur chimique, soit comme substitution à des combustibles classiques. La nature et la composition des produits recyclés peuvent varier très significativement d'une année à l'autre, ce qui explique les fluctuations observées.

### **Dioxines et furannes (PCDD-F)**

De 1990 à 1996, le facteur d'émission est une valeur moyenne communiquée par la profession [300].

A partir de 2003, les émissions sont déterminées sur la base des déclarations annuelles des rejets [19].

De 1997 à 2002, les valeurs sont interpolées car la réduction s'est faite progressivement.

### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Les facteurs d'émission sont documentés pour les composés pris en compte dans le cadre de la CEE-NU et de la directive NEC [754]. Les valeurs retenues sont appliquées uniformément sur l'ensemble de la période étudiée.

### **Polychlorobiphényles (PCB)**

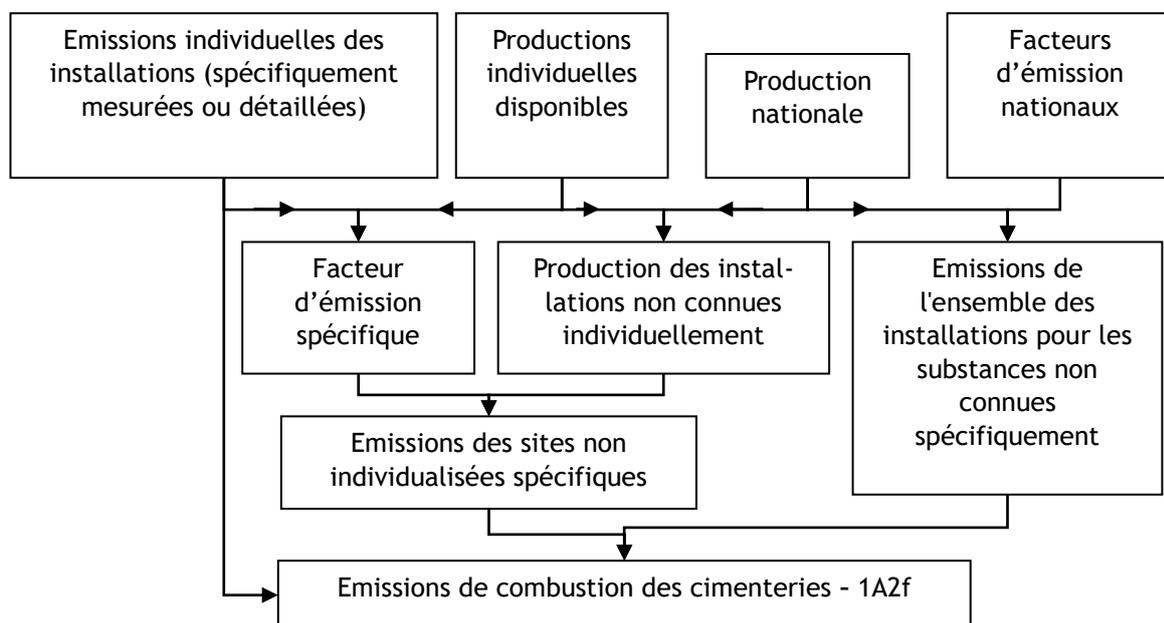
Les émissions sont déterminées à partir d'un facteur d'émission des PCB identique pour toutes les années [1065].

### **Hexachlorobenzène (HCB)**

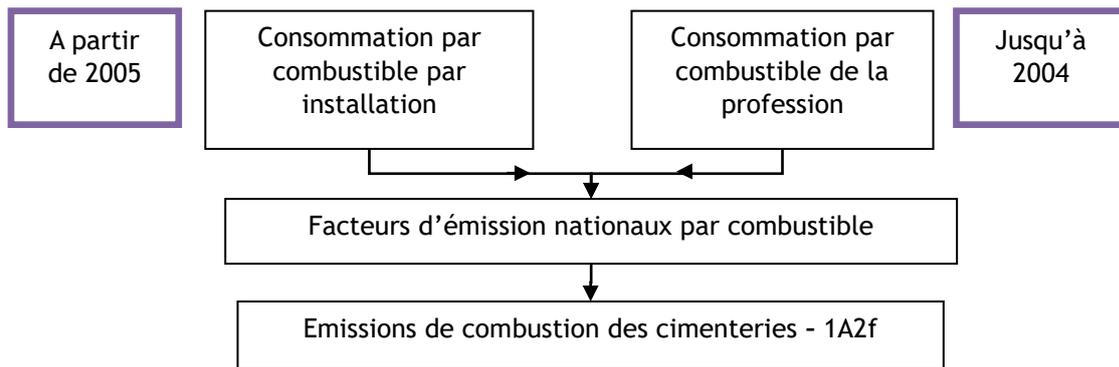
Les émissions sont déterminées à partir d'un facteur d'émission des HCB identique pour toutes les années [1065].

### **Logigramme du processus d'estimation des émissions.**

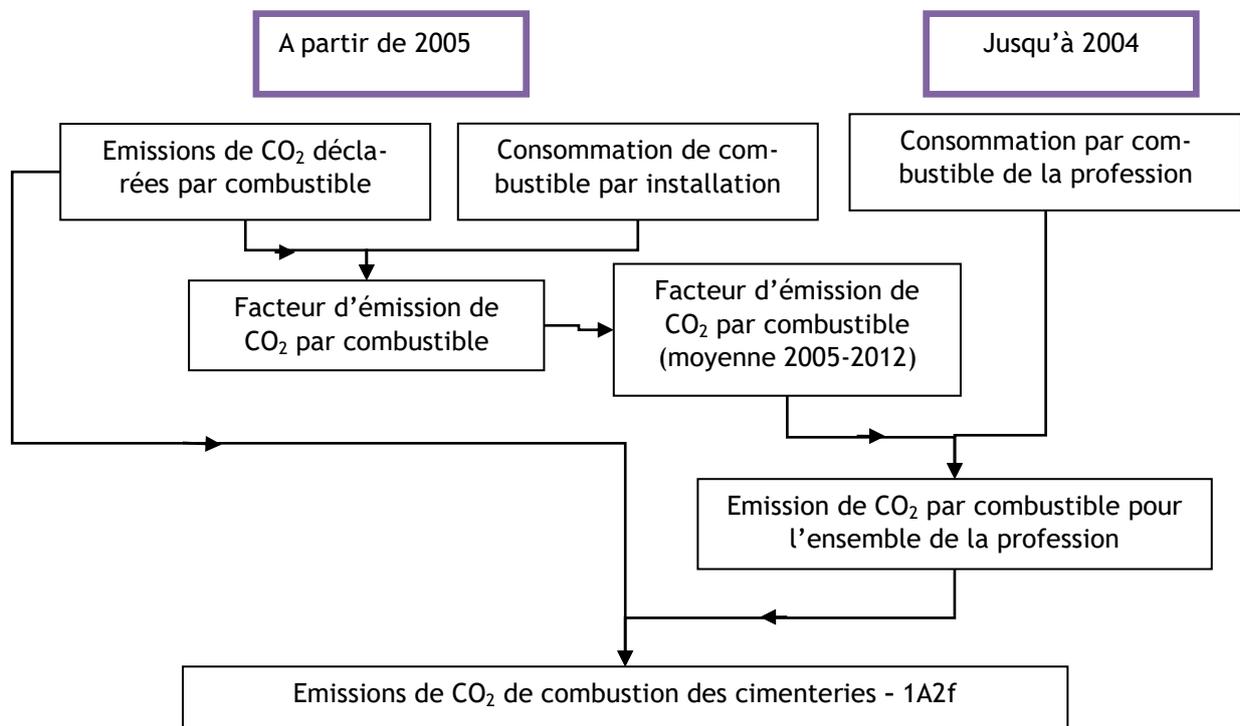
Logigramme du processus d'estimation des émissions - cas des polluants hors GES



Logigramme du processus d'estimation des émissions - cas du N<sub>2</sub>O et du CH<sub>4</sub>



Logigramme du processus d'estimation des émissions - cas du CO<sub>2</sub>



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
09/02/2024	VM	14/02/2024	JV

## PRODUCTION D'EMAIL (COMBUSTION)

Ce paragraphe permet d'introduire la méthodologie mise en œuvre pour déterminer les émissions liées à la combustion dans le secteur de la production d'email.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1A2f
CEE-NU / NFR	1A2f
SNAPc (extension CITEPA)	030325
CE / directive IED	3.4
CE / E-PRTR	3f
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up intégral (toutes les installations sont considérées individuellement)	Généralement spécifiques de chaque installation considérée individuellement

### Niveau de méthode :

Rang 2 ou 3 pour le CO<sub>2</sub> selon les années du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations.

Rang GIEC 1 pour le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O.

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[50] Données communiquées directement par les exploitants au Citepa

[1288] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.2 Manufacturing industries and construction (combustion) - Table 3-3

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Cette section concerne uniquement les émissions provenant de la combustion dans les sites de production d'email.

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées au phénomène de décarbonatation dans les installations de production d'email sont présentées dans la section relative aux procédés industriels.

En France, trois sites de production d'email sont actuellement identifiés. Seuls deux de ces sites sont soumis à la déclaration annuelle des rejets de polluants atmosphériques du fait

de leur taille. Faute d'informations, seuls ces deux sites sont retenus dans le calcul de l'inventaire national. Toutefois, l'autre petit site est pris en compte dans le solde du bilan de l'énergie.

De plus, depuis avril 2010, l'un de ces deux sites retenus dans l'inventaire national a fermé.

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.

#### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Les émissions déterminées dans cette section sont celles provenant de la consommation de combustibles pour alimenter les fours et éventuellement celles provenant des produits utilisés ou ajoutés.

Compte tenu du nombre restreint d'installations concernées, les facteurs d'émission ne sont pas communiqués dans la base de données OMINEA.

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

##### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions nationales correspondent à la somme des émissions des installations de production d'émail [19]. Toutefois, lorsqu'une valeur d'émission spécifique manque, la valeur de l'année précédente ou un facteur d'émission moyen est utilisé.

##### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Les émissions nationales sont estimées à partir des consommations de combustibles déclarées par les sites [19] et des facteurs d'émission par combustible (cf. section générale énergie).

##### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Les émissions nationales sont estimées à partir des consommations de combustibles déclarées par les sites [19] et des facteurs d'émission par combustible (cf. section générale énergie).

##### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions nationales correspondent à la somme des émissions de SO<sub>2</sub> 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.

Les émissions proviennent très majoritairement de l'apport de soufre contenu dans les matières premières.

### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Les émissions nationales correspondent à la somme des émissions de NO<sub>x</sub> 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.

Les émissions de NO<sub>x</sub> proviennent majoritairement des matières premières utilisées chargées en nitrates.

### **Emissions de COVNM**

Les émissions nationales correspondent à la somme des émissions de COVNM 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 CO**

Un facteur d'émission déterminé à partir des déclarations annuelles de CO [19] relatif à l'année 2002 est appliqué sur toute la période.

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Compte tenu des déclarations annuelles [19], il n'est pas attendu d'émission significative de NH<sub>3</sub> par les installations de production d'émail.

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Les émissions de particules totales en suspension sont mesurées périodiquement et déclarées à l'administration par chaque installation [19].

Les émissions nationales correspondent à la somme des émissions des installations de production d'émail. Toutefois, lorsqu'une valeur d'émission spécifique manque, la valeur de l'année précédente est reportée ou un facteur d'émission moyen est utilisé.

### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

A partir de quelques résultats de mesure [19], un ratio pour les PM<sub>10</sub>, exprimé par rapport aux particules totales, est déterminé puis appliqué pour chaque année aux émissions totales de particules en suspension.

Selon le Guidebook EMEP/EEA 2023 (table 3.3) [1288] le facteur d'émission des PM<sub>2,5</sub> est le même que celui des PM<sub>10</sub> dans le cas de la consommation de gaz naturel comme combustible.

Faute de données disponibles dans la littérature, il est fait l'hypothèse que le ratio des PM<sub>1,0</sub> est le même que celui des PM<sub>2,5</sub>.

<i>tranche granulométrique</i>	<i>% répartition des TSP</i>
PM <sub>10</sub>	46
PM <sub>2,5</sub>	46
PM <sub>1,0</sub>	46

### ***Emissions de carbone suie / black carbon (BC)***

Les émissions de carbone suie sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Les émissions de BC représentent 4% des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Cette valeur est fournie dans le Guidebook EMEP 2023 [1288].

### ***Métaux lourds (ML)***

Pour tous les métaux lourds, les émissions sont mesurées ponctuellement et déclarées à l'administration pour chaque installation [19], sauf pour le sélénium.

Les émissions nationales correspondent à la somme des émissions des installations de production d'email. Toutefois, lorsqu'une valeur d'émission spécifique manque, la dernière valeur disponible du facteur d'émission du site concerné (sur la base des données déclarées) est appliquée.

Les émissions de sélénium communiquées directement par les exploitants [50] sont utilisées à partir de 2011 et, pour les autres sites, les émissions sont déterminées au moyen d'un facteur d'émission moyen déterminé sur les années connues à partir des données de production communiquées sur le secteur. Avant 2011, cette valeur est recalculée à partir des productions d'email historiques fournies par les exploitants et de la tendance de variation des émissions de TSP afin de prendre en compte la mise en place d'équipements d'atténuation des poussières. Les émissions de sélénium sont également estimées à partir des consommations de combustibles des sites [19] et des facteurs d'émission nationaux relatifs aux métaux lourds (cf. section générale énergie).

### ***Dioxines et furannes (PCDD-F)***

Un facteur d'émission national a été déterminé à partir des quelques résultats de mesure disponibles [19].

### ***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Au sens de la CEE-NU, les HAP regroupent les quatre substances suivantes : benzo(a)pyrène (BaP), benzo(b)fluoranthène (BbF), benzo(k)fluoranthène (BkF) et indéno(123-cd)pyrène (IndPy). Les facteurs d'émission relatifs aux autres HAP sont également fournis (BaA, BghiPe, BahA et FluorA).

Les émissions nationales pour chacun des 8 HAP sont estimées à partir des consommations de combustibles déclarées par les sites [19] et des facteurs d'émission par combustible (cf. section générale énergie).

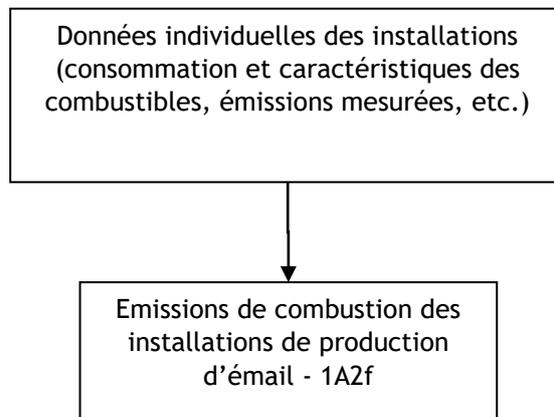
### ***Polychlorobiphényles (PCB)***

Compte tenu du type de combustible utilisé par les producteurs d'email, il n'est pas attendu d'émission de PCB.

### ***Hexachlorobenzène (HCB)***

Compte tenu du type de combustible utilisé par les producteurs d'émail, il n'est pas attendu d'émission de HCB.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
28/12/2022	EF	29/01/2023	JV

## PRODUCTION DE VERRE (COMBUSTION)

Ce paragraphe permet d'introduire la méthode de calcul des émissions liées à la combustion dans le secteur de la production de verre.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1A2f
CEE-NU / NFR	1A2f
SNAPc (extension CITEPA)	030314 ; 030315 ; 030316 ; 030317 ; 030318
CE / directive IED	3.3 (installations de capacité de production supérieure à 20 tonnes par jour) et 3.4
CE / E-PRTR	3 <sup>e</sup>
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production nationale (statistique ou données industrielles par type de verre) pour les polluants hors gaz à effet de serre	Généralement spécifiques de chaque installation considérée individuellement pour tous les polluants. Report de valeurs nationales pour certaines années.
Consommation énergétique par combustible pour les gaz à effet de serre (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O)	

### Niveau de méthode :

Rang 2 ou 3 pour le CO<sub>2</sub> du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations.

Rang GIEC 1 pour le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [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)
- [53] SESSI / INSEE- Production industrielle - Bulletin mensuel de statistique industrielle
- [240] Fédération des Chambres Syndicales de l'Industrie du Verre - données communiquées au Citepa
- [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
- [457] Fédération des industries du verre - Rapport d'activité annuel

[1066] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, section 2A3 Glass Production, tables 3.2 à 3.5

[1069] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, section 2A3 Glass Production, table 3.1

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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 bocaux. Le verre creux, avec 31 sites en activité, est le poste le plus important dans la fabrication de verre puisqu'il représente plus de 60% de la production totale de verre en poids.
- la production de fibres de verre (en particulier laine de verre et fils de verre) (SNAP 030316) compte 9 sites en activité.
- la production de verre technique (SNAP 030317) qui regroupe en particulier, la lunetterie et l'optique, les ampoules, le verre pour télévision et radio, le verre de laboratoire, les isolateurs, compte 5 sites en activité.
- la production de fibre minérale (laine de roche) (SNAP 030318), uniquement 4 sites en activité.

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

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

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

La production de verre totale correspond à la somme de ces différentes productions.

Les différentes étapes intervenant dans la fabrication du verre sont les suivantes :

- Le calcin, nécessaire à la fusion, est une matière première qui est, soit produite par l'installation (réutilisation du surplus de production, récupération des pièces rejetées par le contrôle qualité, etc.), soit récupérée à l'extérieur (recyclage du verre).
- Les matières premières utilisées lors de la fabrication de verre sont : la silice sous forme de sable, l'oxyde de sodium sous forme de carbonate, les éléments alcalino-terreux sous forme de chaux ou de dolomie.
- La fusion de ces matières premières ainsi que du calcin s'effectue, soit dans un four de combustion, soit dans un four électrique à une température de 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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) : RAS

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

Pour quantifier les gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub>), 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 CO<sub>2</sub>**

La méthodologie mise en œuvre est appliquée à l'ensemble de la production de verre. Elle est présentée sur le schéma ci-après.

A partir de 2005, les émissions par combustible et par installation sont directement connues via les déclarations annuelles [19]. A partir des consommations par combustible, un facteur d'émission par combustible est déterminé par année.

Pour les années antérieures à 2005, un facteur d'émission moyen est déterminé sur la période 2005-2012 par combustible et par type de verre. Il est ensuite appliqué aux consommations par combustible et par type de verre pour calculer les émissions de CO<sub>2</sub>.

Les émissions ainsi obtenues par année et par combustible sont sommées pour estimer les émissions de CO<sub>2</sub> totales annuelles.

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Pour toutes les années et quel que soit le type de verre produit, les émissions de CH<sub>4</sub> sont estimées à partir des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, appliqués uniformément à toutes les installations et présentés en section générale énergie.

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Pour toutes les années et quel que soit le type de verre produit, les émissions de N<sub>2</sub>O sont estimées à partir des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, appliqués uniformément à toutes les installations et présentés en section générale énergie.

### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

Selon les polluants, les produits et la période, différentes approches méthodologiques sont mises en œuvre :

Approche A : les émissions nationales correspondent à la somme, d'une part, des émissions des sites qui déclarent annuellement leurs rejets [19] et, d'autre part, des émissions calculées des sites pour lesquels les émissions ne sont pas directement disponibles (le calcul est alors basé sur l'utilisation de données des sites connus et/ou des reports de l'année précédente).

Approche B : les émissions sont déterminées comme étant égales au produit de l'activité par un facteur d'émission. Ce facteur est établi pour une année particulière pour laquelle des données ont permis de le déterminer.

Autres approches : les émissions sont déterminées par un autre moyen (facteur d'émission de la littérature, etc.).

Les approches mises en œuvre sont précisées au cas par cas dans les paragraphes ci-après.

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions de SO<sub>2</sub> des installations de production de verre, quel que soit le type de verre produit, peuvent être déterminées par bilan matière ou par mesure [19].

Code SNAP	Type de produit	Période	Approche méthodologique
030314	Verre plat	Depuis 1993	A
		Avant 1993	B base 1993
030315	Verre creux	Depuis 1993	A
		Avant 1993	B base 1993
030316	Fibre de verre	Depuis 1993	A
		Avant 1993	B base 1993
030317	Verre technique	Depuis 1994	A
		Avant 1994	B base 1994
030318	Laine de roche	Depuis 1994	A
		Avant 1994	B base 1994

### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Les émissions déclarées de NO<sub>x</sub> des installations de production de verre, quel que soit le type de verre produit, sont déterminées par mesure.

Les mêmes approches méthodologiques par type de verre que pour le SO<sub>2</sub> sont mises en œuvre.

### **Emissions de COVNM**

Les émissions déclarées de COVNM des installations de production de verre, quel que soit le type de verre produit, sont déterminées par mesure.

En fonction du type de verre et de l'année, différentes approches méthodologiques sont mises en œuvre.

Code SNAP	Type de produit	Période	Approche méthodologie
030314	Verre plat	Toutes les années	A
030315	Verre creux	Depuis 2004	A
		Avant 2004	B base 2004
030316	Fibre de verre	Toutes les années	Inclus dans la catégorie relative à l'enduction de la fibre de verre (cf. section relative au code CRF 3D)
030317	Verre technique	Toutes les années	Facteur d'émission de la littérature [407]
030318	Laine de roche	Depuis 2002	A
		Avant 2002	B base 2002

### **Emissions de CO**

Les émissions déclarées de CO des installations de production de verre, quel que soit le type de verre produit, sont déterminées par mesure.

En fonction du type de verre et de l'année, différentes méthodologies sont mises en œuvre.

Code SNAP	Type de produit	Période	Approche méthodologie
030314	Verre plat	Depuis 2004	A avec facteur d'émission provenant de la référence [409] pour la fraction des installations dont les émissions ne sont pas directement disponibles
		Avant 2004	B base 2004
030315	Verre creux	Depuis 2004	A avec facteur d'émission provenant de la référence [240] pour la fraction des installations dont les émissions ne sont pas directement disponibles
		Avant 2004	Utilisation d'un facteur d'émission issu de données communiquées par la profession [240]
030316	Fibre de verre	Depuis 2004	A
		Avant 2004	B base 2004
030317	Verre technique	Depuis 2004	A avec facteur d'émission provenant de la référence [407] pour la fraction des installations dont les émissions ne sont pas directement disponibles
		Avant 2004	B base 2004
030318	Laine de roche	Depuis 1994	Somme des émissions déclarées jusqu'à 2018 ; A depuis 2019
		Avant 1994	B base 2004

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> des verreries ne sont produites que par certaines fabrications de verre, en particulier lors de la fabrication de produits isolants (laine de verre et laine de roche). Ces émissions ne sont pas induites par la fusion du verre mais lors de la fabrication de la fibre. En effet, ces émissions proviennent des liants et des encollages qui se dégradent au fibrage et en étuve de polymérisation.

Les facteurs d'émission ont été déterminés à partir des données disponibles dans les déclarations annuelles des émissions à partir de 2004 [19] puis, pour les années suivantes, le facteur d'émission relatif à l'année 2004 est appliqué uniformément à toutes les années antérieures.

Attention, les facteurs d'émission présentés dans la base de données OMINEA sont des facteurs d'émission rapportés à l'ensemble de la production nationale même si tous les sites ne sont pas émetteurs.

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Les différentes méthodologies mises en œuvre sont les suivantes :

- M1. Les émissions déclarées sont utilisées [19] et, pour les autres sites, les émissions sont déterminées au moyen d'un facteur d'émission moyen par année estimé à partir des déclarations.
- M2. Les facteurs d'émission utilisés proviennent de la profession [240].
- M6. Les émissions sont déterminées à partir d'une interpolation linéaire entre deux années dont les facteurs d'émission sont connus.

Code SNAP	030314	030315	030316	030317	030318
Type de verre produit	Verre plat	Verre creux	Fibre de verre	Verre technique	Laine de roche
Méthodologie	A partir de 2000 : M1 En 1991, 1992, et de 1994 à 1999 : M6 En 1990 et 1993 : M2	A partir de 2002 : M1 En 1991, 1992, 1994 et de 1998 à 2001 : M6 En 1990, 1993, et de 1995 à 1997 : M2	A partir de 2000 : M1 En 1991, 1992, 1994, 1998 et 1999 : M6 En 1990, 1993 et de 1995 à 1997 : M2	Idem verre creux	A partir de 2001 : M1 En 1991, 1992, 1994, 1998 et entre 1998 et 2000 : M6 En 1990, 1993 et de 1995 à 1997 : M2

### **Emissions de PM10, PM2,5, PM1,0**

D'après la profession [240], les poussières émises lors de la fabrication du verre plat, verre creux, verre technique et laine de roche sont toutes submicroniques. Les facteurs d'émission des PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>1,0</sub> sont donc les mêmes que ceux relatifs aux particules totales (se reporter au tableau ci-dessus).

En ce qui concerne la fabrication de fibre de verre, les déclarations annuelles de rejets [19] fournissent des données sur les émissions de PM<sub>10</sub> différentes des émissions de TSP. Les mêmes facteurs d'émission que ceux relatifs aux PM<sub>10</sub> sont appliqués aux PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>1,0</sub> faute d'information plus précise.

### **Emissions de Black Carbon/Carbone suie (BC)**

Les émissions de carbone suie sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub> (cf. tableau ci-dessous).

Code SNAP	% BC par rapport aux PM <sub>2,5</sub>	Référence
030314 - Verre plat	0,062	[1066 - table 3.2]
030315 - Verre creux	0,062	[1066- table 3.3]
030316 - Fibre de verre	2	[1066- table 3.5]
030317 - Verre technique	2	[1066- table 3.4]
030318 - Laine minérale	2	Hypothèse : même ratio que le verre technique

### **Métaux lourds (ML)**

Les facteurs d'émission relatifs aux métaux lourds proviennent, soit d'une compilation des données disponibles dans les déclarations annuelles des rejets (dont les consommations de combustibles) [19], soit de données de la profession [240], soit de valeurs de la littérature ([1066] et [1069]). Les fluctuations observées reflètent la variabilité des conditions de fonctionnement des installations.

Les différentes méthodologies mises en œuvre sont les suivantes :

- M1. Les émissions déclarées sont utilisées [19] et, pour les autres sites, les émissions sont déterminées au moyen d'un facteur d'émission moyen annuel estimé à partir des déclarations complétées.
- M2. Les facteurs d'émission utilisés proviennent de la profession [240].
- M3. Le facteur d'émission retenu est celui déterminé relativement à une certaine année qui est précisée.
- M4. Les émissions déclarées sont utilisées [19] et, pour les autres sites, les émissions sont déterminées à partir du facteur d'émission communiqué par la fédération [240].
- M5. Les émissions sont estimées à partir des consommations de combustibles des sites [19] et des facteurs d'émission nationaux relatifs aux métaux lourds (cf. section générale énergie).
- M6. Les émissions sont déterminées à partir d'une interpolation linéaire entre deux années dont les facteurs d'émission sont connus.
- M7. Les émissions déclarées sont utilisées [19] et, pour les autres sites, les émissions sont déterminées au moyen d'un facteur d'émission déterminé une certaine année à partir des déclarations.

Pour l'ensemble des métaux lourds, les différentes méthodologies mises en œuvre dépendent de l'année considérée ainsi que du type de verre produit.

Arsenic

Code SNAP	030314	030315	030316	030317	030318
Type de verre produit	Verre plat	Verre creux	Fibre de verre	Verre technique	Laine de roche
Méthodologie	<p>Avant 2003 : M2</p> <p>Entre 2003 et 2008 : M1</p> <p>A partir de 2009 : M7 (report du facteur d'émission (FE) de 2007)</p>	<p>Avant 2003 : M3 (report FE 2003)</p> <p>A partir de 2003 : M1</p>	<p>Avant 2003 : M3 (report FE 2003)</p> <p>2003, 2004 : M7 (report FE 2005)</p> <p>2005, 2006 : M1</p> <p>2007, 2008 : M7 (report FE 2006)</p> <p>A partir de 2009 : M1</p>	<p>Avant 2004 : M3 (report FE 2004)</p> <p>A partir de 2004 : M4</p>	M5

Cadmium

Code SNAP	030314	030315	030316	030317	030318
Type de verre produit	Verre plat	Verre creux	Fibre de verre	Verre technique	Laine de roche
Méthodologie	<p>Avant 2003 : M2</p> <p>Entre 2003 et 2009 : M1</p> <p>A partir de 2010 : M7 (report FE 2009)</p>	<p>Avant 2003 : M3 (report FE 2003)</p> <p>Entre 2003 et 2008 : M1</p> <p>A partir de 2009 : M7 (report FE 2008)</p>	<p>Avant 2003 : M3 (report FE 2003)</p> <p>Entre 2003 et 2009 : M1</p> <p>A partir de 2010 : M7 (report FE 2009)</p>	<p>Avant 2004 : M3 (report FE 2004)</p> <p>A partir de 2004 : M4</p>	M5

Chrome

Code SNAP	030314	030315	030316	030317	030318
Type de verre produit	Verre plat	Verre creux	Fibre de verre	Verre technique	Laine de roche
Méthodologie	<p>Avant 1999 : M2</p> <p>Entre 1999 et 2003 : M6</p> <p>A partir de 2003 : M1</p>	<p>Avant 2003 : M3 (report FE 2003)</p> <p>Entre 2003 et 2010 : M1</p> <p>A partir de 2011 : M7 (report FE 2010)</p>	<p>Avant 2003 : M3 (report FE 2003)</p> <p>A partir de 2003 : M7 (utilisation du facteur d'émission de 2008 à partir des déclarations)</p>	<p>Avant 2004 : M3 (report FE 2004)</p> <p>A partir de 2004 : M4</p>	M5

Cuivre

Code SNAP	030314	030315	030316	030317	030318
Type de verre produit	Verre plat	Verre creux	Fibre de verre	Verre technique	Laine de roche
Méthodologie	<p>Avant 2003 : M2</p> <p>A partir de 2003 : M1</p>	<p>Avant 2004 : M2</p> <p>Entre 2004 et 2009 : M1</p> <p>A partir de 2010 : M7 (report FE 2009)</p>	<p>Avant 2004 : M3 (report du facteur d'émission national de 2004)</p> <p>2004 : M7 (report FE 2005)</p> <p>2005 et 2006 : M1</p> <p>A partir de 2007 : M7 (report FE 2006)</p>	M2	M5

Mercure

Code SNAP	030314	030315	030316	030317	030318
Type de verre produit	Verre plat	Verre creux	Fibre de verre	Verre technique	Laine de roche
Méthodologie	<p>Avant 1999 : M2</p> <p>Entre 1999 et 2003 : M6</p> <p>Entre 2003 et 2014 : M1</p> <p>A partir de 2015 : M7 (report FE 2014)</p>	<p>Avant 2003 : M2</p> <p>Entre 2003 et 2009 : M1</p> <p>A partir de 2010 : M7 (report FE 2009)</p>	<p>Avant 2003 : M3 (report FE 2003)</p> <p>Entre 2003 et 2009 : M1</p> <p>2010 et 2011 : M7 (report FE 2009)</p> <p>2012 : M1</p> <p>A partir de 2013 : M7 (report FE 2012)</p>	<p>Avant 2004 : M3 (report FE 2004)</p> <p>A partir de 2004 : M4</p>	M5

## Nickel

Code SNAP	030314	030315	030316	030317	030318
Type de verre produit	Verre plat	Verre creux	Fibre de verre	Verre technique	Laine de roche
Méthodologie	<p>Avant 1999 : M2</p> <p>Entre 1999 et 2003 : M6 (entre 1999 et 2003)</p> <p>Entre 2003 et 2006 : M1</p> <p>A partir de 2007 : M7 (report FE 2006)</p>	<p>Avant 2003 : M3 (report FE 2003)</p> <p>Entre 2003 et 2009 : M1</p> <p>2010 : M7 (report FE 2009)</p> <p>A partir de 2011 : M7 (report FE 2010)</p>	<p>Avant 2003 : M3 (report FE 2003)</p> <p>2003 : M1</p> <p>Entre 2004 et 2008 : M7 (report FE 2009)</p> <p>2009 et 2010 : M1</p> <p>A partir de 2011 : M7 (report FE 2010)</p>	<p>Avant 2004 : M3 (report FE 2004)</p> <p>A partir de 2004 : M4</p>	M5

## Plomb

Code SNAP	030314	030315	030316	030317	030318
Type de verre produit	Verre plat	Verre creux	Fibre de verre	Verre technique	Laine de roche
Méthodologie	<p>Avant 2003 : M2</p> <p>Entre 2003 et 2019 : M1</p> <p>A partir de 2020 : M7 (report FE 2019)</p>	<p>Avant 2003 : M2</p> <p>Entre 2003 et 2009 : M1</p> <p>A partir de 2010 : M7 (report du FE 2009)</p>	<p>Avant 2003 : M3 (report du FE 2005)</p> <p>2003, 2004 : M7 (report du FE 2005)</p> <p>Entre 2005 et 2009 : M1</p> <p>A partir de 2010 : M7 (report du FE 2009)</p>	<p>Avant 2004 : M3 (report FE 2004)</p> <p>2004 : M1</p> <p>A partir de 2005 : M7 (utilisation du FE 2004)</p>	M5

## Sélénium

Code SNAP	030314	030315	030316	030317	030318
Type de verre produit	Verre plat	Verre creux	Fibre de verre	Verre technique	Laine de roche
Méthodologie	[1066]	[1066]	M5	[1069]	M5

## Zinc

Code SNAP	030314	030315	030316	030317	030318
Type de verre produit	Verre plat	Verre creux	Fibre de verre	Verre technique	Laine de roche
Méthodologie	Avant 1999 : M2 Entre 1999 et 2003 : M6 Entre 2003 et 2019 : M1 A partir de 2020 : M7 (report FE 2019)	Avant 2003 : M2 A partir de 2003 : M4	M5	M2	M5

### ***Dioxines et furannes (PCDD-F)***

Les émissions de dioxines et furannes sont négligeables quel que soit le type de verre produit.

### ***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Au sens de la CEE-NU, les HAP regroupent les quatre substances suivantes : benzo(a)pyrène (BaP), benzo(b)fluoranthène (BbF), benzo(k)fluoranthène (BkF) et indéno(123-cd)pyrène (IndPy). Les facteurs d'émission relatifs aux autres HAP sont également fournis (BaA, BghiPe, BahA et FluorA).

La méthodologie mise en œuvre consiste à déterminer les émissions au moyen des consommations annuelles du secteur par combustible et du facteur d'émission approprié (cf. section générale énergie).

### ***Polychlorobiphényles (PCB)***

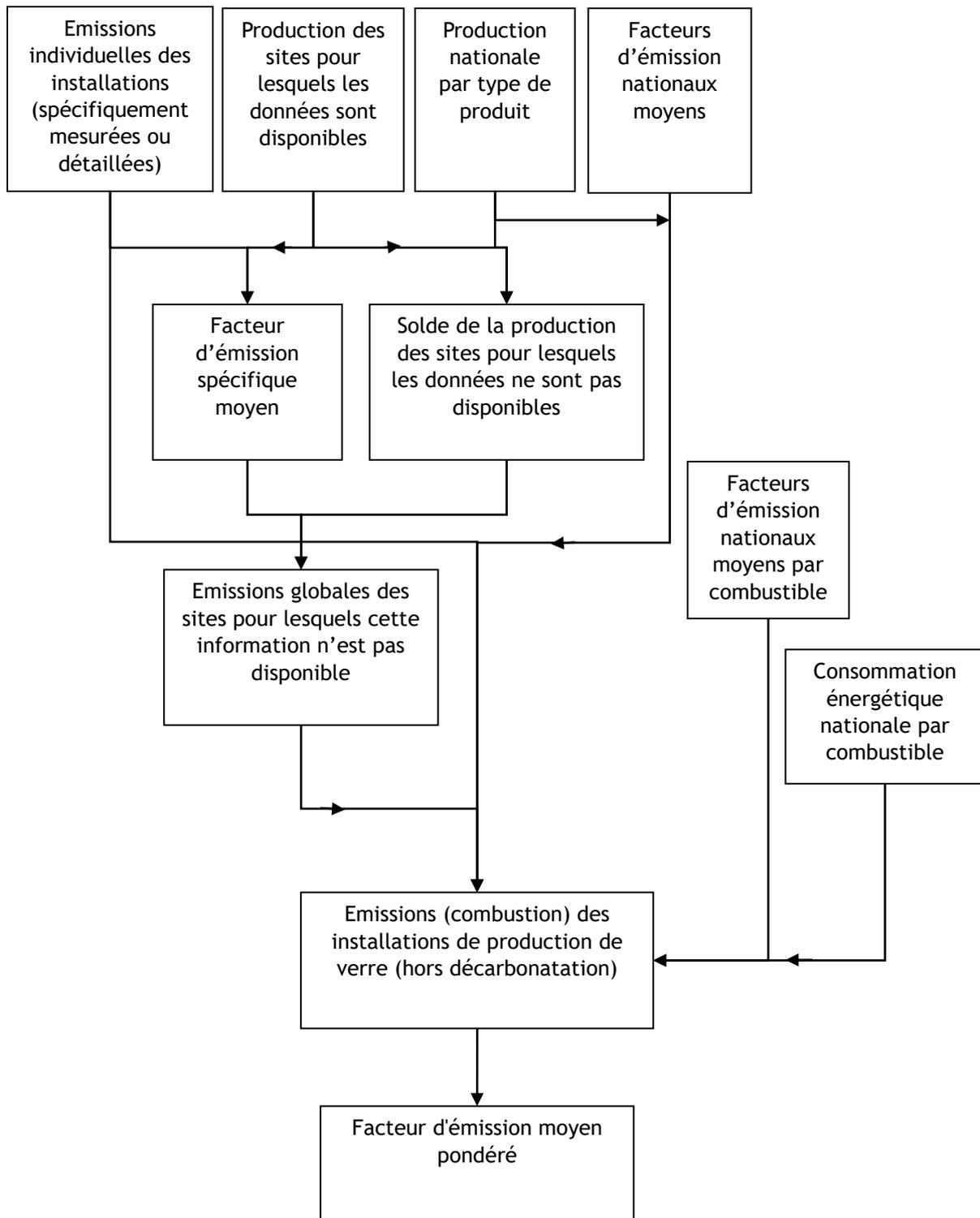
Les émissions de PCB sont calculées à partir de la consommation de combustibles et des facteurs d'émission associés (cf. section générale énergie).

### ***Hexachlorobenzène (HCB)***

Les émissions de HCB sont calculées à partir de la consommation de combustibles et des facteurs d'émission associés (cf. section générale énergie).

Compte tenu des combustibles utilisés, des émissions ne sont déterminées que pour la production de laine de roche (SNAP 030318).

## Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
02/12/2022	EF	29/01/2023	JV

## PRODUCTION DE CHAUX (COMBUSTION)

Ce paragraphe permet d'introduire la méthode de calcul des émissions induites par la combustion dans le secteur de la production de chaux.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1A2f
CEE-NU / NFR	1A2f
SNAPc (extension CITEPA)	030312
CE / directive IED	3.1 (installations avec des fours rotatifs de capacité de production supérieure à 50 tonnes par jour)
CE / E-PRTR	3cii et iii
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production nationale provenant de la profession (Chambre Syndicale Nationale des Fabricants de Chaux Grasses et Magnésiennes) et production de chaux hydraulique (ATILH) pour les polluants hors gaz à effet de serre	Généralement spécifiques de chaque installation considérée individuellement
Consommation énergétique par combustible pour les gaz à effet de serre (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O)	

### Niveau de méthode :

Rang 2/3 du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [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)
- [183] CITEPA - IER - Study on particulate matter emissions: particle size distribution chemical composition and temporal profiles - Interreg III for ASPA, January 2005
- [190] Chambre Syndicale Nationale des Fabricants de Chaux Grasses et Magnésiennes - Statistiques annuelles de production de chaux grasses (aériennes) et magnésiennes
- [196] Données annuelles de production nationale des installations de production de chaux hydraulique fournies par l'ATILH (données confidentielles)

[1067] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, section 2A2 Lime Production, table 3.1

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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

La partie relative à la décarbonatation provenant des installations de production de chaux (incluant les émissions liées à la production de chaux en sucreries) est traitée dans la section relative au code CRF 2A2.

Les auto-producteurs de chaux des secteurs de la papeterie et de la sucrerie sont pris en compte dans les secteurs correspondants.

### Fabrication de la chaux

La fabrication de la chaux se déroule en plusieurs étapes dont les principales sont les suivantes :

- Le calcaire est extrait des carrières. Il est l'élément de base de la fabrication de la chaux. Les émissions provenant des carrières ne sont pas comptabilisées dans cette partie.
- Le calcaire est concassé puis introduit dans des fours verticaux ou des fours rotatifs. Les combustibles utilisés diffèrent selon les fours. Le produit obtenu est de la chaux vive.
- Le passage de la chaux vive à la chaux éteinte se fait par réaction chimique exothermique, dite hydratation. Cette réaction a lieu dans un appareil appelé hydrateur où chaux et eau sont mises en contact.

Deux types de production de chaux sont à distinguer :

- d'une part, la chaux aérienne [190], également appelée chaux grasse ou chaux calcique et, d'autre part, la chaux magnésienne. La chaux aérienne est principalement constituée d'oxyde ou d'hydroxyde de calcium qui durcit lentement à l'air sous l'effet du CO<sub>2</sub> 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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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).

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

Pour quantifier les gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub>), 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<sub>2</sub>***

La méthodologie mise en œuvre pour calculer les émissions de CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> (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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>4</sub>***

Pour toutes les années, les émissions de CH<sub>4</sub> 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<sub>2</sub>O***

Pour toutes les années, les émissions de N<sub>2</sub>O sont estimées à partir des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. Les différentes sources utilisées pour déterminer les consommations de combustibles sont présentées dans la section précédente. Les facteurs d'émission nationaux par combustible sont appliqués uniformément à toutes les installations (cf. section générale énergie).

### ***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

Pour les polluants hors gaz à effet de serre, la production nationale annuelle de chaux est utilisée pour déterminer les émissions de polluants.

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Au niveau des sites industriels, les émissions de SO<sub>2</sub> des installations de production de chaux aérienne, magnésienne et hydraulique peuvent être déterminées par bilan matière, par mesure ou à partir des consommations de combustibles.

Trois méthodologies sont mises en œuvre en fonction de l'année car certaines données individuelles sont disponibles pour les années 1994 et 1995 et à partir de 1999 via les déclarations annuelles de polluants [19].

Pour les années 1994 et 1995 et à partir de 1999, les émissions déclarées pour certains sites via les déclarations annuelles de polluants [19] sont utilisées. Pour le reste de la production nationale, un facteur d'émission est déterminé chaque année à partir des sites qui ont déclaré des émissions de SO<sub>2</sub>. Ce facteur d'émission est ensuite appliqué au solde de la production nationale. Le schéma suivant précise la méthodologie mise en œuvre pour les années 1994 et 1995 et à partir de 1999.

Entre 1996 et 1998, les facteurs d'émission sont obtenus par linéarisation des facteurs d'émission connus en 1995 et 1999.

Avant 1994, les émissions nationales sont estimées en utilisant le facteur d'émission déterminé en 1994.

### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Au niveau des sites industriels, les émissions déclarées de NO<sub>x</sub> des installations de production de chaux aérienne, magnésienne et hydraulique sont déterminées par mesure ponctuelle ou en continu.

Pour estimer les émissions de NO<sub>x</sub> des installations de production de chaux, la même méthodologie que pour le SO<sub>2</sub> est mise en œuvre.

### **Emissions de COVNM**

Au niveau des sites industriels, les émissions déclarées des installations de production de chaux aérienne, magnésienne et hydraulique sont déterminées par mesure périodique.

Pour estimer les émissions de COVNM des installations de production de chaux, la même méthodologie que pour le SO<sub>2</sub> est mise en œuvre.

### **Emissions de CO**

Pour estimer les émissions de CO des installations de production de chaux, la même méthodologie que pour le SO<sub>2</sub> est mise en œuvre.

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables d'autant qu'il n'y a actuellement aucune installation munie de dispositif d'épuration des NO<sub>x</sub> dont la nature du procédé serait susceptible de rejeter cette substance en quantité significative.

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Trois méthodologies sont mises en œuvre en fonction de l'année car certaines données individuelles sont disponibles pour les années 1994 et 1995 et à partir de 1999 via les déclarations annuelles de polluants [19].

Pour les années 1994 et 1995 et à partir de 1999, les émissions déclarées pour certains sites via les déclarations annuelles de polluants [19] sont utilisées. Pour le reste de la production nationale, un facteur d'émission est déterminé chaque année à partir des sites qui ont déclaré des émissions de particules totales. Ce facteur d'émission est ensuite appliqué au solde de la production nationale.

Entre 1996 et 1998, les facteurs d'émission sont obtenus par linéarisation des facteurs d'émission connus en 1995 et 1999.

Avant 1994, les émissions nationales sont estimées en utilisant le facteur d'émission déterminé en 1994.

### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Les facteurs d'émission relatifs aux PM<sub>10</sub> sont obtenus de manière similaire aux TSP mais avec un échantillon de données plus restreint. Le pourcentage de PM<sub>10</sub> par rapport aux TSP est pris égal au pourcentage observé en 2005.

Les valeurs retenues pour les PM<sub>2,5</sub> sont issues de l'étude IER / CITEPA dans le cadre d'Interreg III [183].

Les PM<sub>1,0</sub> sont estimées en faisant l'hypothèse que le facteur d'émission est le même que celui des PM<sub>2,5</sub>.

Ces facteurs d'émission s'appliquent quel que soit le type de chaux produite.

### **Emissions de Black Carbon/Carbone suie (BC)**

Les émissions de carbone suie sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Les émissions de BC représentent 0,46% des émissions de PM<sub>2,5</sub> [1067].

### **Métaux lourds (ML)**

Pour tous les métaux lourds traités dans le SNIÉBA et pour l'ensemble de la période depuis 1990, les émissions sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés et des facteurs d'émission communs relatifs à ces mêmes combustibles (cf. section générale énergie).

### **Dioxines et furannes (PCDD-F)**

Les émissions de dioxines et furannes induites par les fours à chaux sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés et des facteurs d'émission communs relatifs à ces mêmes combustibles (cf. section générale énergie).

### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Au sens de la CEE-NU, les HAP regroupent les quatre substances suivantes : benzo(a)pyrène (BaP), benzo(b)fluoranthène (BbF), benzo(k)fluoranthène (BkF) et indéno(123-cd)pyrène (IndPy). Les facteurs d'émission relatifs aux autres HAP sont également fournis (BaA, BghiPe, BahA et FluorA).

La même méthodologie que pour les dioxines et furannes est utilisée pour chaque composé HAP. Les facteurs d'émission par combustible sont disponibles dans la section générale énergie.

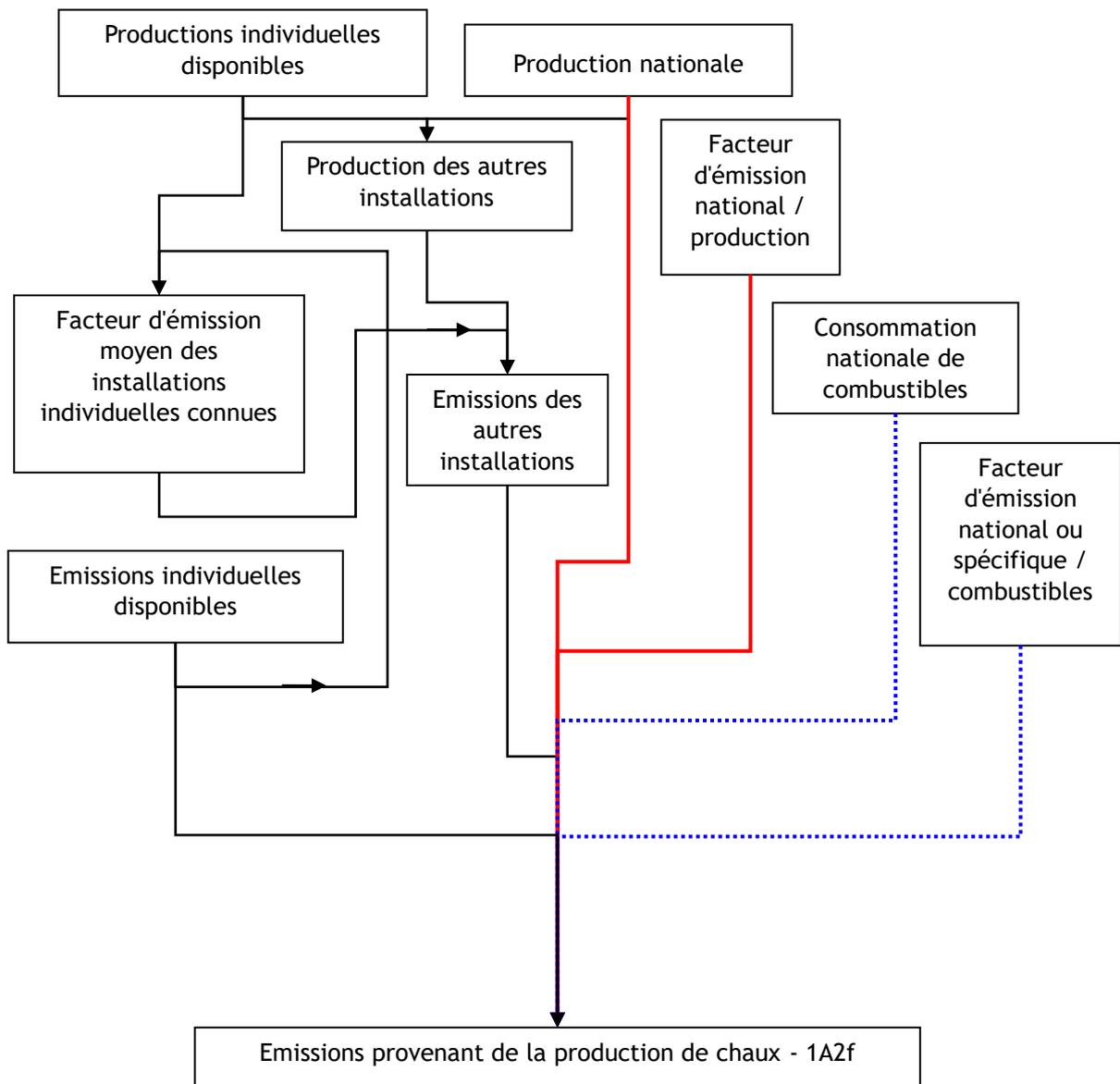
### **Polychlorobiphényles (PCB)**

La même méthodologie que pour les dioxines et furannes est utilisée. Les facteurs d'émission par combustible décrits dans la section générale énergie sont appliqués.

### **Hexachlorobenzène (HCB)**

La même méthodologie que pour les dioxines et furannes est utilisée. Les facteurs d'émission par combustible décrits dans la section générale énergie sont appliqués.

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
28/12/2022	EF	29/01/2023	JV

## PRODUCTION DE PLATRE (COMBUSTION)

Ce paragraphe permet d'introduire la méthode de calcul des émissions induites par la combustion dans le secteur de la production de plâtre.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1A2f
CEE-NU / NFR	1A2f
SNAPc (extension CITEPA)	030204
CE / directive IED	3.4
CE / E-PRTR	3f
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production de plâtre pour les polluants hors gaz à effet de serre	Déterminés à partir des données individuelles ou à partir de facteurs spécifiques aux combustibles consommés
Consommation énergétique par combustible pour les gaz à effet de serre (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O)	

### Niveau de méthode :

Rangs 1 et 2/3 du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [68] OFEFP - Mesures pour la réduction des émissions de PM<sub>10</sub>. Document environnement n° 136, juin 2001
- [364] Syndicat National des Industries du Plâtre - communication de données internes relatives à la production annuelle
- [395] EPA - AP42. Janvier 1995, page 11.16-8, table 11.16-4
- [452] INSEE - Publication annuelle - Les consommations d'énergie dans l'industrie
- [1064] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - Chapter 2A1 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Le plâtre est produit à partir de gypse. Le gypse est un sulfate de calcium hydraté, de formule Ca(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O. 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).

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

Les émissions de gaz à effet de serre sont calculées à partir de la consommation énergétique.

#### Consommation énergétique

La méthode d'estimation des consommations du secteur du plâtre est présentée ci-après :

#### Méthode à partir de 2003

A partir de 2003, les consommations par combustible proviennent, d'une part, des déclarations individuelles des industriels [19] et, d'autre part, pour les sites non soumis au système déclaratif (consommation surfacique), un calcul est réalisé par année :

Consommation surfacique par combustible = (consommation connue par combustible / production connue) x (production nationale - production connue)

#### Entre 1990 et 2002

Le secteur du plâtre est inclus dans le code NCE E20. Ainsi, en 2003, il est possible de déterminer la part que représente le secteur du plâtre dans le total du code NCE E20 par combustible [452].

Ce ratio par combustible déterminé en 2003 est supposé constant sur la période 1990-2002.

Les consommations par combustible sur la période 1990-2002 correspondent donc au produit entre les consommations par combustible du code NCE E20 et le ratio déterminé pour l'année 2003.

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

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

A partir de 2005, les émissions de CO<sub>2</sub> par combustible proviennent, d'une part, des déclarations annuelles des industriels [19] et, d'autre part, elles sont calculées par produit entre la consommation surfacique telle que décrite précédemment et le facteur d'émission de CO<sub>2</sub> par combustible déterminé par année sur la base des déclarations annuelles individuelles.

Pour les années antérieures à 2005, les émissions de CO<sub>2</sub> sont estimées sur la base des données de consommation par combustible (méthode décrite précédemment) et des facteurs d'émission moyens

de la période 2005-2012 par combustible (cas particulier : pour le gaz naturel, le facteur d'émission national est retenu car il est évolutif en fonction des années).

### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Pour toutes les années, les émissions de CH<sub>4</sub> sont estimées à partir des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible appliqués uniformément à toutes les installations (cf. section générale énergie).

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

La méthode appliquée est similaire à celle du CH<sub>4</sub>.

### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

Les émissions sont calculées à partir de la production de plâtre nationale [364], de la production de plâtre déclarée par les sites industriels [19] mais également selon certaines années à partir de la consommation énergétique (méthode décrite précédemment).

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

A partir de 2003, les émissions nationales correspondent à la somme des émissions de SO<sub>2</sub> provenant, d'une part, des déclarations annuelles [19] (toutefois, lorsqu'une donnée n'est pas déclarée une année, la valeur de l'année précédente ou une valeur moyenne calculée à partir des données disponibles pour d'autres installations est utilisée) et, d'autre part, du calcul pour la production surfacique. Les émissions de SO<sub>2</sub> provenant de la production surfacique correspondent au produit entre la production surfacique (production nationale - production des sites connus) et le facteur d'émission déduit des données de SO<sub>2</sub> déclarées par les industriels.

Avant 2003, les émissions sont déterminées à partir des consommations du secteur par combustible et des facteurs d'émission nationaux (cf. section générale énergie).

### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

La méthode pour déterminer les émissions de NO<sub>x</sub> est la même que celle pour le SO<sub>2</sub>.

### **Emissions de COVNM**

La même méthodologie que pour le SO<sub>2</sub> est employée.

### **Emissions de CO**

La même méthodologie que pour le SO<sub>2</sub> est employée.

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables pour la production de plâtre.

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Avant 2003, le facteur d'émission de l'OFEFP [68] est retenu.

A partir de 2003, les émissions nationales correspondent à la somme des émissions de TSP provenant, d'une part, des déclarations annuelles [19] (toutefois, lorsqu'une donnée n'est pas déclarée une

année, la valeur de l'année précédente ou une valeur moyenne calculée à partir des données disponibles pour d'autres installations est utilisée), et, d'autre part, du calcul pour la production surfacique. Les émissions de TSP provenant de la production surfacique correspondent au produit entre la production surfacique (production nationale - production des sites connus) et le facteur d'émission déduit des données de TSP déclarées par les industriels.

### **Emissions de PM10, PM2,5, PM1,0**

La granulométrie provient respectivement pour les PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> de l'OFEFP [68] et de l'US EPA [395] (la proportion correspond à la moyenne des trois procédés proposés).

<i>tranche granulométrique</i>	<i>% répartition des TSP</i>
PM <sub>10</sub>	62
PM <sub>2,5</sub>	37
PM <sub>1,0</sub>	37

Pour les PM<sub>1,0</sub>, il est fait l'hypothèse que la répartition est la même que celle des PM<sub>2,5</sub>.

### **Emissions de Black Carbon/Carbone Suie (BC)**

Les émissions de carbone suie sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Les émissions de BC représentent 3% des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Il a été fait l'hypothèse que le ratio pour la production de plâtre est le même que celui pour la production de ciment à partir du guide EMEP/EEA 2019 [1064].

### **Métaux lourds (ML)**

Pour tous les métaux lourds traités dans le SNIEBA et pour l'ensemble de la période depuis 1990, les émissions sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés et des facteurs d'émission communs relatifs à ces mêmes combustibles (cf. section générale énergie).

### **Dioxines et furannes (PCDD-F)**

Les émissions de dioxines et furannes induites par les fours à plâtre sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés et des facteurs d'émission communs relatifs à ces mêmes combustibles (cf. section générale énergie).

### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Au sens de la CEE-NU, les HAP regroupent les quatre substances suivantes : benzo(a)pyrène (BaP), benzo(b)fluoranthène (BbF), benzo(k)fluoranthène (BkF) et indéno(123-cd)pyrène (IndPy). Les facteurs d'émission relatifs aux autres HAP sont également fournis (BaA, BghiPe, BahA et FluorA).

La même méthodologie que pour les dioxines et furannes est utilisée pour chaque HAP. Les facteurs d'émission par combustible sont disponibles dans la section générale énergie.

### **Polychlorobiphényles (PCB)**

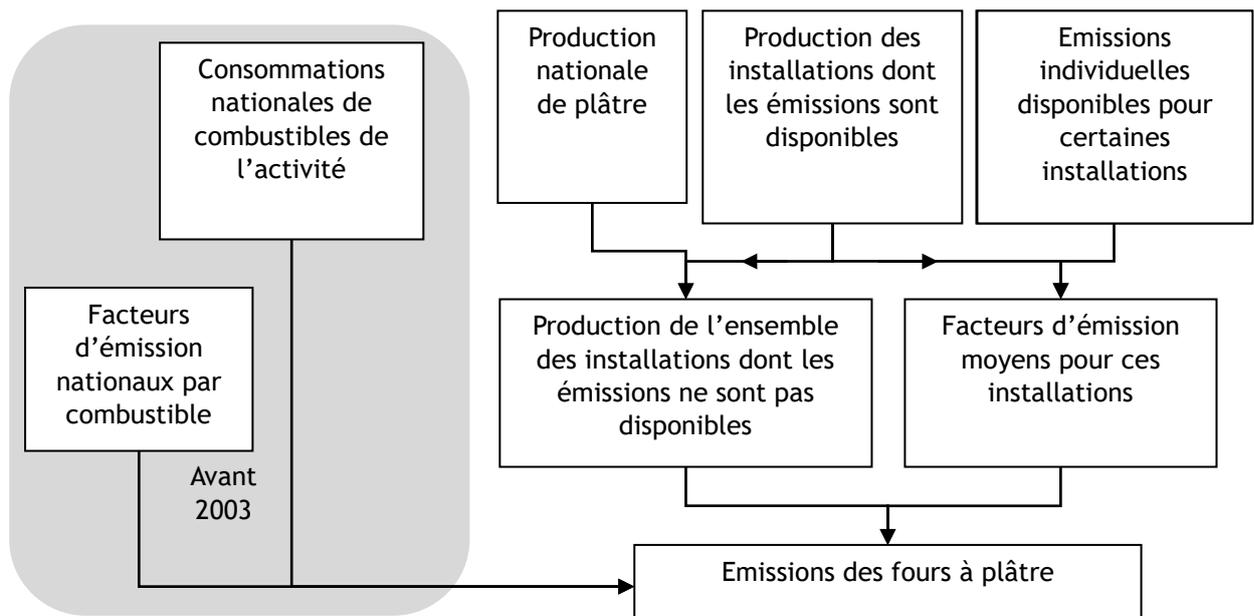
La même méthodologie que pour les dioxines et furannes est utilisée. Les facteurs d'émission par combustible décrits dans la section générale énergie sont appliqués.

### Hexachlorobenzène (HCB)

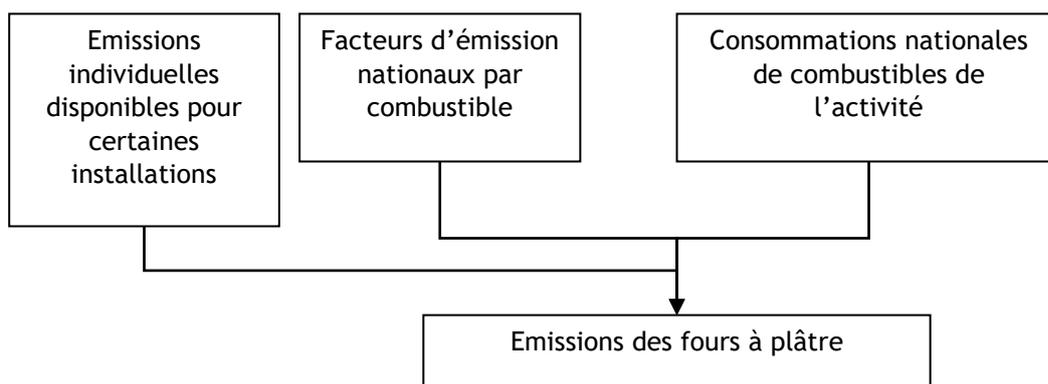
Il n'y a pas d'émission attendue de cette substance.

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.

Pour les polluants hors gaz à effet de serre



Pour les gaz à effet de serre



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
14/01/2021	EF	20/01/2021	JV

## PRODUCTION DE CERAMIQUES FINES

Cette section concerne uniquement les émissions provenant de la combustion dans les installations de production de céramiques fines. Les émissions de CO<sub>2</sub> liées au phénomène de décarbonatation dans les installations de production de céramiques fines sont traitées dans la section relative aux procédés industriels.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.2.f
CEE-NU / NFR	1.A.2.f
SNAPc (extension CITEPA)	03.03.20
CE / directive IED	3.5 (installations de capacité de production supérieure à 75 tonnes par jour et/ou de capacité de four de plus de 4m <sup>3</sup> et d'une densité d'enfournement de plus de 300 kg/m <sup>3</sup> par four)
CE / E-PRTR	3g
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production nationale de céramiques fines et consommations de combustibles du secteur	Données spécifiques à chaque installation, facteurs d'émission nationaux et par défaut

### Niveau de méthode :

Rang GIEC 2 ou 3 selon les années pour le CO<sub>2</sub> et les autres polluants atmosphériques, du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations.

Rang GIEC 1 pour le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [26] Ministère de l'Industrie, de l'Economie et des Finances (SESSI) et Ministère de l'Agriculture (SCEES) - Enquête annuelle sur les consommations d'énergie dans l'industrie (EACEI)
- [42] OFEFP - Coefficients d'émission des sources stationnaires, éditions 1995 et 2000
- [183] CITEPA - IER - Study on particulate matter emissions: particle size distribution chemical composition and temporal profiles - Interreg III for ASPA, January 2005
- [251] Confédération des Industries céramiques de France - Chiffres clés de la profession - statistiques annuelles (confidentielles)
- [623] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 2, Table 2.3 (combustion stationnaire)
- [1064] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - Chapter 2A1 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (spécifique NIR) :

Les émissions sont calculées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission par combustible associés.

### Méthode générale d'estimation des émissions (spécifique IIR) :

Différentes méthodes d'estimation des émissions peuvent être utilisées, en fonction du polluant concerné : émissions déclarées directement [19], émissions calculées à partir de la consommation de combustibles ou de la production nationale.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Sur l'ensemble de la période, les émissions de CO<sub>2</sub> sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie). Ces émissions peuvent être ramenées, au niveau national, soit à la consommation d'énergie, soit à la production nationale.

### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Sur l'ensemble de la période, les émissions de CH<sub>4</sub> sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission par défaut tirés du GIEC 2006 [623], relatifs à chaque combustible.

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Sur l'ensemble de la période, les émissions de N<sub>2</sub>O sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission par défaut tirés du GIEC 2006 [623], relatifs à chaque combustible.

### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

Deux méthodes distinctes sont utilisées pour estimer les émissions de polluants :

- Emissions déclarées directement, via les déclarations annuelles de polluants [19] ;
- Emissions calculées, soit :
  - à partir des facteurs d'émission par combustible (cf. section générale énergie) appliqués à la consommation de combustibles ; soit
  - à partir de facteurs d'émission moyens recalculés, appliqués à la production.

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions de SO<sub>2</sub> sont induites, d'une part, par les combustibles et, d'autre part, par l'apport de matières premières. Deux méthodologies sont mises en œuvre en fonction de l'année car certaines données individuelles ne sont disponibles que depuis 2004 via les déclarations annuelles de polluants [19].

A partir de 2004 :

- Pour les sites ayant déclaré leurs émissions de SO<sub>2</sub> via les déclarations annuelles de polluants [19], ces émissions sont directement utilisées.
- Pour le reste de la production nationale, un facteur d'émission moyen relatif aux émissions induites par la matière première est déterminé chaque année à partir des sites qui déclarent des émissions de SO<sub>2</sub>, et est ensuite appliqué au solde de la production nationale. Les émissions induites par la consommation de combustibles sont quant à elles recalculées à partir du solde de la consommation nationale et des facteurs d'émission par combustible (cf. section générale énergie).
- Un facteur d'émission moyen au niveau national est alors recalculé chaque année, à partir des émissions totales (induites par l'utilisation de combustibles et par les éléments contenus dans la matière première), ramenées à la production nationale.

Avant 2004, les émissions provenant des combustibles sont calculées à partir des consommations de combustibles du secteur et des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie). Les émissions induites par la matière première sont calculées en multipliant la production nationale par le facteur d'émission moyen relatif à la matière première déterminé à partir des déclarations annuelles de polluants des années 2004 à 2006. Un facteur d'émission moyen au niveau national est également recalculé chaque année, à partir des émissions totales (induites par l'utilisation de combustibles et par les éléments contenus dans la matière première), ramenées à la production nationale.

### **Emissions de NOx**

Deux méthodologies sont mises en œuvre en fonction de l'année car certaines données individuelles ne sont disponibles que depuis 2004 via les déclarations annuelles de polluants [19].

A partir de 2004 :

- Pour les sites ayant déclaré leurs émissions de NOx via les déclarations annuelles de polluants [19], ces émissions sont directement utilisées.
- Pour le reste de la production nationale, un facteur d'émission moyen est déterminé chaque année à partir des sites qui déclarent des émissions de NOx, et est ensuite appliqué au solde de la production nationale.

Avant 2004, les émissions nationales sont estimées en utilisant le facteur d'émission moyen déterminé en 2004, la variabilité des émissions étant supposée au moins égale aux évolutions a priori limitées du procédé au cours de la période démarrant en 1990.

### **Emissions de COVNM**

Deux méthodologies sont mises en œuvre en fonction de l'année car certaines données individuelles ne sont disponibles que depuis 2004 via les déclarations annuelles de polluants [19].

A partir de 2004 :

- Pour les sites ayant déclaré leurs émissions de COVNM via les déclarations annuelles de polluants [19], ces émissions sont directement utilisées.
- Pour le reste de la production nationale, un facteur d'émission moyen est déterminé chaque année à partir des sites qui déclarent des émissions de COVNM, et est ensuite appliqué au solde de la production nationale.

Avant 2004, les émissions nationales sont estimées en appliquant le facteur d'émission issu de l'OFEFP [42] à la production nationale.

### **Emissions de CO**

Deux méthodologies sont mises en œuvre en fonction de l'année car certaines données individuelles ne sont disponibles que depuis 2004 via les déclarations annuelles de polluants [19].

A partir de 2004 :

- Pour les sites ayant déclaré leurs émissions de CO via les déclarations annuelles de polluants [19], ces émissions sont directement utilisées.
- Pour le reste de la production nationale, un facteur d'émission moyen est déterminé chaque année à partir des sites qui déclarent des émissions de CO, et est ensuite appliqué au solde de la production nationale.

Avant 2004, les émissions nationales sont estimées en appliquant le facteur d'émission issu de l'OFEP [42] à la production nationale.

#### *Emissions de NH<sub>3</sub>*

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables.

#### *Emissions de poussières totales en suspension (TSP)*

Deux méthodologies sont mises en œuvre en fonction de l'année car certaines données individuelles ne sont disponibles que depuis 2004 via les déclarations annuelles de polluants [19].

A partir de 2004 :

- Pour les sites ayant déclaré leurs émissions de TSP via les déclarations annuelles de polluants [19], ces émissions sont directement utilisées.
- Pour le reste de la production nationale, un facteur d'émission moyen est déterminé chaque année à partir des sites qui déclarent des émissions de TSP, et est ensuite appliqué au solde de la production nationale.

Avant 2004, les émissions nationales sont estimées en appliquant le facteur d'émission moyen déterminé en 2004.

#### *Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>*

Les émissions de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont calculées en utilisant des ratios exprimés par rapport aux particules totales [183].

Les émissions de PM<sub>1,0</sub> sont estimées en faisant l'hypothèse que le facteur d'émission est le même que celui des PM<sub>2,5</sub>.

#### *Emissions de carbone suie / black carbon (BC)*

Les émissions de carbone suie sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub> ou PM<sub>10</sub>. Les émissions de BC représentent 3% des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Il a été fait l'hypothèse que le ratio pour la production de céramique est le même que celui pour la production de ciment [1064].

#### *Métaux lourds (ML)*

Les émissions de certains métaux lourds proviennent, d'une part, de l'utilisation de combustibles et, d'autre part, des éléments contenus dans la matière première. Pour d'autres métaux lourds, les émissions ne proviennent que de la combustion.

Chaque année, depuis 2004, les émissions déclarées pour certains sites via les déclarations annuelles de polluants [19] sont utilisées pour déterminer un facteur d'émission moyen induit par la matière première. Ce facteur d'émission moyen est ensuite appliqué à la production nationale [251] pour chaque année depuis 1990. Pour les émissions induites par la combustion, les facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie) sont appliqués à la consommation nationale.

Un facteur d'émission moyen au niveau national est alors recalculé chaque année, à partir des émissions totales (induites par l'utilisation de combustibles et par les éléments contenus dans la matière première), ramenées à la production nationale.

#### *Dioxines et furannes (PCDD-F)*

Sur l'ensemble de la période, les émissions de dioxines et furannes sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission relatifs à chaque

combustible (cf. section générale énergie). Un facteur d'émission moyen au niveau national est recalculé chaque année, à partir des émissions totales ramenées à la production nationale.

#### ***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Sur l'ensemble de la période, les émissions de HAP de chacun des composés (BaP, BkF, BbF, IndPy, BghiPe, BaA, BahA, FluorA) sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie). Des facteurs d'émission moyens au niveau national sont recalculés chaque année, à partir des émissions totales des polluants, ramenées à la production nationale.

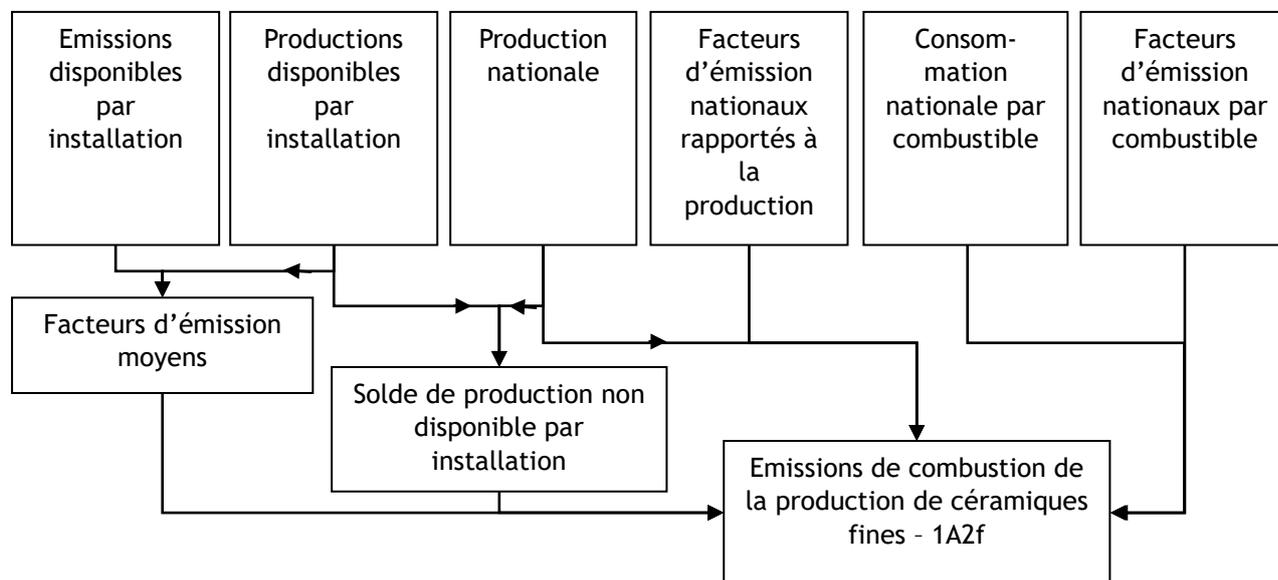
#### ***Polychlorobiphényles (PCB)***

Sur l'ensemble de la période, les émissions de PCB sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie). Un facteur d'émission moyen au niveau national est recalculé chaque année, à partir des émissions totales ramenées à la production nationale.

#### ***Hexachlorobenzène (HCB)***

Sur l'ensemble de la période, les émissions de HCB sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie). Un facteur d'émission moyen au niveau national est recalculé chaque année, à partir des émissions totales ramenées à la production nationale.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
27/12/2022	EF	29/01/2023	JV

## PRODUCTION DE TUILES ET BRIQUES

Cette section concerne uniquement les émissions provenant de la combustion dans les installations de production de tuiles et briques. Les émissions de CO<sub>2</sub> liées au phénomène de décarbonatation dans les installations de production de tuiles et briques sont présentées dans la section relative aux procédés industriels.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.2.f
CEE-NU / NFR	1.A.2.f
SNAPc (extension CITEPA)	030319
CE / directive IED	3.5 (installations de capacité de production supérieure à 75 tonnes par jour et/ou de capacité de four de plus de 4 m <sup>3</sup> )
CE / E-PRTR	3g
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production nationale de tuiles et briques (pour les polluants) Consommations de combustibles du secteur (pour les gaz à effet de serre)	Données spécifiques à chaque installation pour le CO <sub>2</sub> Facteurs d'émission par défaut pour le CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O Autres polluants (cf. section spécifique)

### Niveau de méthode :

Rang GIEC 2/3 pour le CO<sub>2</sub>, du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations. Rang GIEC 1 pour le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [26] Ministère de l'Industrie, de l'Economie et des Finances (SESSI) et Ministère de l'Agriculture (SCEES) - Enquête annuelle sur les consommations d'énergie dans l'industrie (EACEI)
- [183] CITEPA - IER - Study on particulate matter emissions: particle size distribution chemical composition and temporal profiles - Interreg III for ASPA, January 2005
- [241] FFTB (Fédération Française des Tuiles et Briques) - Statistiques annuelles
- [1064] EMEP 2019 EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - Chapter 2A1 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1

## Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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.

## Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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

### 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] ainsi que des déclarations annuelles [19].

## Méthode générale d'estimation des émissions (spécifique NIR) :

Les émissions sont calculées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission par combustible associés.

## Méthode générale d'estimation des émissions (spécifique IIR) :

Différentes méthodes d'estimation des émissions peuvent être utilisées, en fonction du polluant concerné : émissions déclarées directement [19], émissions calculées à partir de la consommation de combustibles ou de la production nationale.

La disponibilité de données détaillées (types, quantités et caractéristiques des combustibles, types d'équipements, mesures des émissions, bilans, etc.) [19, 26] pour certaines années permet une estimation assez fine des émissions. De plus, cet apport de données spécifiques permet de calculer des facteurs d'émission propres au secteur, ce qui contribue à la complexité mais permet d'atteindre un niveau qualitatif plus élevé des estimations.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

A partir de 2005, les émissions de CO<sub>2</sub> par combustible proviennent, d'une part, des déclarations annuelles [19] et, d'autre part, elles sont calculées sur la base des consommations surfaciques (solde des consommations nationales et connues par site) et des facteurs d'émission nationaux de CO<sub>2</sub> par combustible (mix Tier 2/3).

Pour les années antérieures à 2005, les émissions de CO<sub>2</sub> sont estimées sur la base des données de consommation par combustible (méthode décrite précédemment) et des facteurs d'émission nationaux (Tier 2).

La cohérence temporelle est vérifiée en comparant les facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> recalculés depuis 2005 à partir des données des exploitants avec les facteurs d'émission CO<sub>2</sub> nationaux.

Pour information, pour les sites soumis au SEQE, un contrôle de cohérence est effectué entre les émissions déclarées dans ce cadre, et les données disponibles dans les déclarations annuelles des émissions [19].

### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Sur l'ensemble de la période, les émissions de CH<sub>4</sub> sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission par défaut relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Sur l'ensemble de la période, les émissions de N<sub>2</sub>O sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission par défaut relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

Deux méthodes distinctes sont utilisées pour estimer les émissions de polluants :

- Emissions déclarées directement, via les déclarations annuelles de polluants [19] ;
- Emissions calculées, soit :
  - à partir des facteurs d'émission par combustible (cf. section générale énergie) appliqués aux consommations ; soit
  - à partir de facteurs d'émission moyens recalculés, appliqués à la production.

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions de SO<sub>2</sub> sont induites, d'une part, par les combustibles et, d'autre part, par l'apport de matières premières. Deux méthodologies sont mises en œuvre en fonction de l'année car certaines données individuelles ne sont disponibles que depuis 2004 via les déclarations annuelles de polluants [19].

A partir de 2004 :

- Pour les sites ayant déclaré leurs émissions de SO<sub>2</sub> via les déclarations annuelles de polluants [19], ces valeurs d'émissions sont directement utilisées.
- Pour le reste de la production nationale, un facteur d'émission moyen relatif aux émissions induites par la matière première est déterminé chaque année à partir des

sites qui déclarent des émissions de SO<sub>2</sub>, et est ensuite appliqué au solde de la production nationale. Les émissions induites par la consommation de combustibles sont quant à elles recalculées à partir du solde de la consommation nationale et des facteurs d'émission par combustible (cf. section générale énergie).

- Un facteur d'émission moyen au niveau national est alors recalculé chaque année, à partir des émissions totales (induites par l'utilisation de combustibles et par les éléments contenus dans la matière première), ramenées à la production nationale.

Avant 2004, le facteur d'émission utilisé est la moyenne des facteurs d'émission recalculés au niveau national, sur la période 2004-2013. Ce facteur d'émission moyen est appliqué à la production nationale [241].

### ***Emissions de NOx***

Deux méthodologies sont mises en œuvre en fonction de l'année car certaines données individuelles ne sont disponibles que depuis 2004 via les déclarations annuelles de polluants [19].

A partir de 2004 :

- Pour les sites ayant déclaré leurs émissions de NOx via les déclarations annuelles de polluants [19], ces émissions sont directement utilisées.
- Pour le reste de la production nationale, un facteur d'émission moyen est déterminé chaque année à partir des sites qui déclarent des émissions de NOx, et est ensuite appliqué au solde de la production nationale.

Avant 2004, le facteur d'émission utilisé est la moyenne de ceux déterminés sur la période 2004-2013, appliqué à la production nationale.

### ***Emissions de COVNM***

Deux méthodologies sont mises en œuvre en fonction de l'année car certaines données individuelles ne sont disponibles que depuis 2004 via les déclarations annuelles de polluants [19].

A partir de 2004 :

- Pour les sites ayant déclaré leurs émissions de COVNM via les déclarations annuelles de polluants [19], ces émissions sont directement utilisées.
- Pour le reste de la production nationale, un facteur d'émission moyen est déterminé chaque année à partir des sites qui déclarent des émissions de COVNM, et est ensuite appliqué au solde de la production nationale.

Avant 2004, le facteur d'émission utilisé est la moyenne de ceux déterminés sur la période 2004-2013, appliqué à la production nationale.

### ***Emissions de CO***

Deux méthodologies sont mises en œuvre en fonction de l'année car certaines données individuelles ne sont disponibles que depuis 2004 via les déclarations annuelles de polluants [19].

A partir de 2004 :

- Pour les sites ayant déclaré leurs émissions de CO via les déclarations annuelles de polluants [19], ces émissions sont directement utilisées.
- Pour le reste de la production nationale, un facteur d'émission moyen est déterminé chaque année à partir des sites qui déclarent des émissions de CO, et est ensuite appliqué au solde de la production nationale.

Avant 2004, le facteur d'émission utilisé est la moyenne de ceux déterminés sur la période 2004-2013, appliqué à la production nationale.

#### *Emissions de NH<sub>3</sub>*

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables.

#### ***Emissions de poussières totales en suspension (TSP)***

Deux méthodologies sont mises en œuvre en fonction de l'année car certaines données individuelles ne sont disponibles que depuis 2004 via les déclarations annuelles de polluants [19].

A partir de 2004 :

- Pour les sites ayant déclaré leurs émissions de TSP via les déclarations annuelles de polluants [19], ces émissions sont directement utilisées.
- Pour le reste de la production nationale, un facteur d'émission moyen est déterminé chaque année à partir des sites qui déclarent des émissions de TSP, et est ensuite appliqué au solde de la production nationale.

Avant 2004, le facteur d'émission utilisé est la moyenne de ceux déterminés sur la période 2004-2013, appliqué à la production nationale.

#### ***Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>***

Les émissions de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont calculées en utilisant des ratios exprimés par rapport aux particules totales [183].

Les émissions de PM<sub>1,0</sub> sont déterminées en faisant l'hypothèse que le facteur d'émission est le même que pour les PM<sub>2,5</sub>.

#### ***Emissions de carbone suie / black carbon (BC)***

Les émissions de carbone suie sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Les émissions de BC représentent 3% des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Il a été fait l'hypothèse que le ratio pour la production de tuiles et briques est le même que celui pour la production de ciment à partir du guide EMEP/EEA 2019 [1064].

#### ***Métaux lourds (ML)***

Les émissions de métaux lourds proviennent, d'une part, de l'utilisation de combustibles et, d'autre part, des éléments contenus dans la matière première. La même approche est utilisée pour l'ensemble des métaux lourds étudiés ici.

Deux méthodologies sont mises en œuvre en fonction des années et des métaux lourds :

- Méthodologie 1 : Les données d'émissions sont disponibles via les déclarations annuelles de polluants [19],
- Méthodologie 2 : Les données d'émissions ne sont pas disponibles.

**Méthodologie 1 - Données d'émissions disponibles**

Pour les sites ayant déclaré leurs émissions de métaux lourds via les déclarations annuelles de polluants [19], ces émissions sont directement utilisées. Pour le reste de la production nationale, un facteur d'émission moyen relatif aux émissions induites par la matière première est déterminé chaque année à partir des sites qui déclarent des émissions du métal lourd considéré, et est ensuite appliqué au solde de la production nationale. Les émissions induites par la consommation de combustibles sont quant à elles recalculées à partir du solde de la consommation nationale et des facteurs d'émission par combustible (cf. section générale énergie).

Un facteur d'émission moyen au niveau national est alors recalculé chaque année, à partir des émissions totales (induites par l'utilisation de combustibles et par les éléments contenus dans la matière première), ramenées à la production nationale.

**Méthodologie 2 - Pas de données d'émissions disponibles**

Si les données d'émissions ne sont pas disponibles via les déclarations individuelles, les émissions sont déterminées à partir de la consommation de combustibles et des facteurs d'émission par combustible (cf. section générale énergie), auxquelles les émissions induites par la matière première sont ajoutées. Pour évaluer les émissions induites par la matière première, la production nationale est multipliée par le facteur d'émission moyen de la matière première déterminé à partir des années où il y a eu des déclarations annuelles de polluants pour le métal lourd considéré.

Un facteur d'émission moyen au niveau national est alors recalculé chaque année, à partir des émissions totales (induites par l'utilisation de combustibles et par les éléments contenus dans la matière première), ramenées à la production nationale.

**Dioxines et furannes (PCDD-F)**

Sur l'ensemble de la période, les émissions de dioxines et furannes sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie). Un facteur d'émission moyen au niveau national est recalculé chaque année, à partir des émissions totales ramenées à la production nationale.

**Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Sur l'ensemble de la période, les émissions de HAP de chacun des composés (BaP, BkF, BbF, IndPy, BghiPe, BaA, BahA, FluorA) sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie). Des facteurs d'émission moyens au niveau national sont recalculés chaque année, à partir des émissions totales des polluants, ramenées à la production nationale.

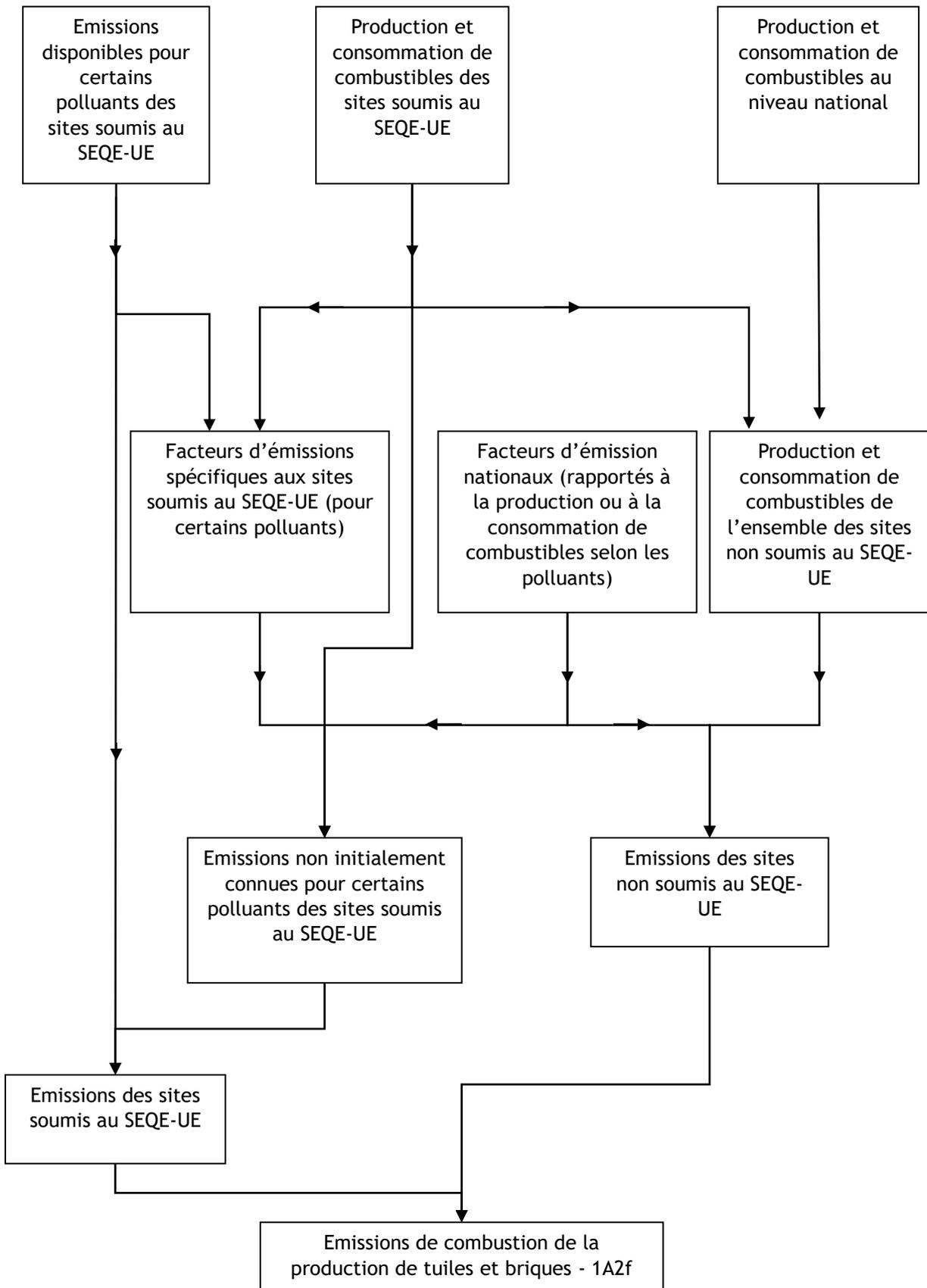
**Polychlorobiphényles (PCB)**

Sur l'ensemble de la période, les émissions de PCB sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie). Un facteur d'émission moyen au niveau national est recalculé chaque année, à partir des émissions totales ramenées à la production nationale.

**Hexachlorobenzène (HCB)**

Sur l'ensemble de la période, les émissions de HCB sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie). Un facteur d'émission moyen au niveau national est recalculé chaque année, à partir des émissions totales ramenées à la production nationale.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
06/02/2024	RK	14/02/2024	JV

## PRODUCTION D'ENROBES ROUTIERS

Cette section concerne les émissions provenant de la combustion dans les stations de production d'enrobés routiers.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1A2g
CEE-NU / NFR	1A2g
SNAPc (extension CITEPA)	030313
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	3f (en partie)
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Consommation nationale de bitume routier	Facteurs d'émission nationaux et spécifiques au secteur en fonction des combustibles et des polluants

### Niveau de méthode :

Rang 2 du fait de l'utilisation de facteurs d'émissions nationaux et de valeurs spécifiques à la production d'enrobés routiers selon les polluants les combustibles.

### Références utilisées :

[183] Citepa - IER - Study on particulate matter emissions: particle size distribution chemical composition and temporal profiles - Interreg III for ASPA, January 2005

[184] 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

[267] USIRF - Evolution du parc de centrales, Octobre 1998

[623] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 2, Table 2.3 (combustion stationnaire)

[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

[1207] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2D3b Road paving with asphalt

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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).

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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].

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions sont déterminées au moyen de la répartition par type de combustibles consommés [185] et du ratio énergétique associé [717] ainsi que des facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie).

#### **Emissions de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O**

Les émissions sont déterminées au moyen de la répartition par type de combustibles consommés [185] et du ratio énergétique associé [717] ainsi que des facteurs d'émission nationaux du secteur par combustible provenant d'une étude nationale [717] pour le fioul lourd et le gaz naturel et des lignes directrices du GIEC 2006 [623] pour les autres combustibles.

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions de SO<sub>2</sub> sont déterminées au moyen de la répartition par type de combustibles utilisés [185], du ratio énergétique associé [717] ainsi que des facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie).

#### **Emissions de NO<sub>x</sub>, COVNM et CO**

Les émissions de NO<sub>x</sub>, COVNM et CO sont déterminées au moyen de la répartition par type de combustibles utilisés [185], du ratio énergétique associé [717] ainsi que des facteurs d'émission sectoriels par combustible [717].

#### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont déterminées au moyen de la répartition par type de combustibles utilisés [185], du ratio énergétique associé [717] ainsi que des facteurs d'émission sectoriels par combustible issus d'une étude nationale [717]. Faute de données disponibles, les émissions de NH<sub>3</sub> ne sont pas estimées pour le gaz naturel.

#### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Les émissions de TSP sont déterminées au moyen de la répartition par type de combustibles utilisés [185], du ratio énergétique associé [717] ainsi que des facteurs d'émission sectoriels par combustible issus d'une étude nationale [717]. D'après l'USIRF [267], le type de dépoussiéreur le plus utilisé depuis 1988 est le filtre à manches.

#### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Les émissions de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont estimées au moyen d'une granulométrie fournie par l'étude ASPA [183]. Faute de valeur disponible, le facteur d'émission pour les PM<sub>1,0</sub> est supposé identique à celui des PM<sub>2,5</sub>.

<i>tranche granulométrique</i>	<i>% répartition des TSP</i>
PM <sub>10</sub>	96
PM <sub>2,5</sub>	33
PM <sub>1,0</sub>	33

#### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>, ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1207] pour le recouvrement des routes. Les émissions de BC représentent 5,7% des émissions de PM<sub>2,5</sub>.

#### **Métaux lourds (ML)**

Arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, sélénium et zinc

Les émissions de métaux lourds sont calculées à partir des facteurs d'émission sectoriels par combustible issus d'une étude nationale [717], du ratio énergétique associé [717] et de la répartition par combustible fournie par la profession [185].

#### **Dioxines et furanes (PCDD-F)**

Les émissions de dioxines/furanes sont calculées à partir des facteurs d'émission nationaux de dioxines/furanes par combustible (cf. section générale énergie), du ratio énergétique associé [717] et de la répartition par combustible fournie par la profession [185].

### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Les émissions de HAP sont calculées à partir des facteurs d'émission sectoriels par combustible issus d'une étude nationale [717], du ratio énergétique associé [717] et de la répartition par combustible fournie par la profession [185]. Les HAP considérés sont : BaA, BaP, BbF, BghiPe, BkF, BahA, FluorA et IndPy.

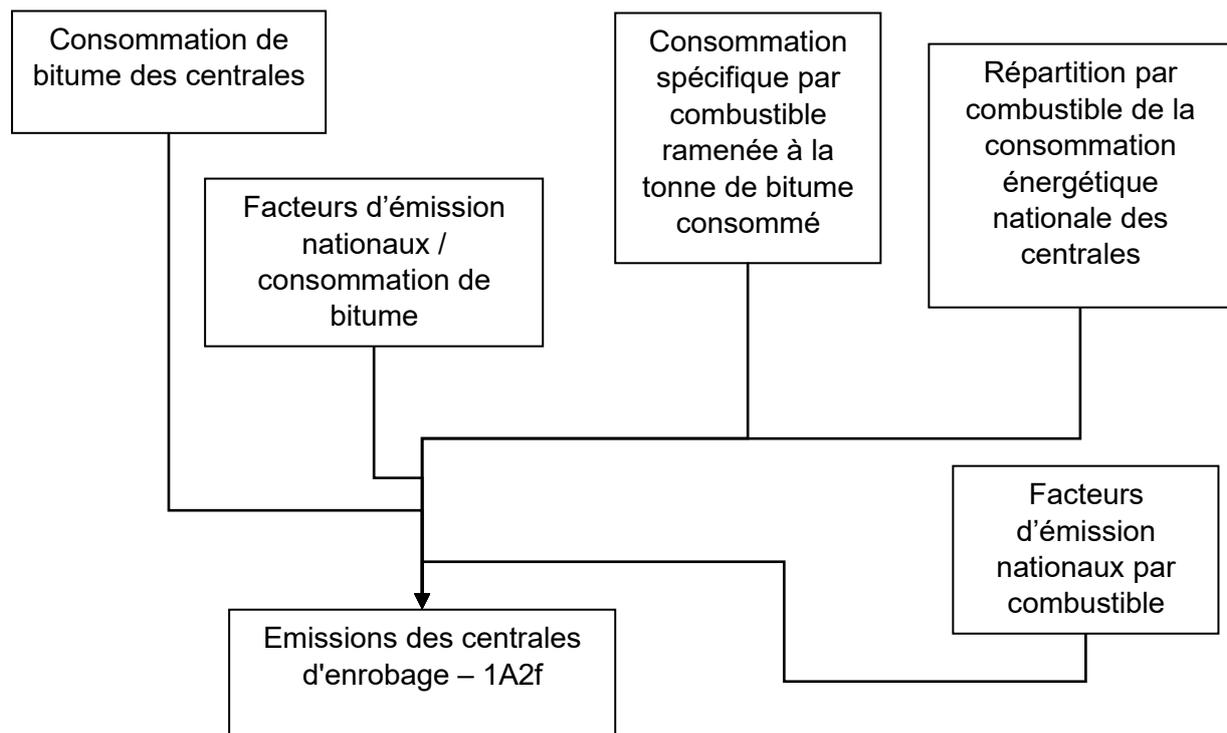
### **Polychlorobiphényles (PCB)**

Les émissions de PCB sont calculées à partir des facteurs d'émission nationaux de PCB par combustible (cf. section générale énergie), du ratio énergétique associé [717] et de la répartition par combustible fournie par la profession [185].

### **Hexachlorobenzène (HCB)**

Les émissions de HCB sont supposées négligeables.

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
05/01/2024	GB	14/02/2024	JV

## INDUSTRIE MANUFACTURIERE (COMBUSTION) - SOURCES MOBILES

La présente section traite des émissions liées à la combustion provenant de sources mobiles du secteur de l'industrie et du BTP (engins mobiles non routiers). Les engins concernés sont essentiellement les équipements de machinerie tels que les groupes électrogènes, les chariots élévateurs, etc. Les engins de transport sont inclus dans les modes de transport correspondants.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.2.a / 1.A.2.b / 1.A.2.c / 1.A.2.d / 1.A.2.e / 1.A.2.f / 1.A.2.g
CEE-NU / NFR	1.A.2.g.vii
SNAPc (extension CITEPA)	08.08.01 et 08.08.02
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Top down	Valeurs nationales pour les polluants réglementés et valeurs par défaut pour les autres

### Niveau de méthode :

Rang 1 à 2 du fait de l'utilisation et de l'évolution des FE nationaux pour les polluants réglementés.

### Références utilisées :

[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

[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)

[49] TNO - Etude CEPMEIP relative aux émissions de particules, 2001

[71] SAMARAS Z. & ZIEROCK K-H. - The estimation of other mobile sources and machinery. May 1994

[141] Directive 2004/26/CE du Parlement européen et du Conseil, du 21 avril 2004, modifiant la directive 97/68/CE sur le rapprochement des législations des Etats membres relatives aux mesures contre les émissions de gaz et de particules polluants provenant des moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers

[624] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 3, Combustion mobile, Table 3.3.1 et 3.2.2

[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

[935] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1A4 Non-road mobile sources and machinery, table 3-1, FE NH<sub>3</sub> / FE BC / FE particules GPL

[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)

[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

[1134] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.3.b.i-iv Road transport

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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] (voir chapitre suivant).

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. Les valeurs nationales (par combustible) sont appliquées uniformément à tous les équipements (cf. section générale énergie).

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

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 1 : Facteurs d'émission du CH<sub>4</sub> par gamme et par norme d'engin

g/GJ	Pré-Directive	Stage I	Stage II	Stage IIIa	Stage IIIb	Stage IV	Stage V
Compacteuses à plaque vibrante, bétonnières	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	1,4
Chargeuses compactes	3,9	3,9	1,3	1,3	1,3	1,3	0,9
Trancheuses	3,9	3,9	1,3	1,3	1,3	1,3	0,9
Rouleaux	3,3	1,3	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6
Pelles mécaniques, finisseurs	3,3	1,3	0,9	0,9	0,6	0,6	0,3
Bulldozers, chargeuses, tractopelles	2,7	0,9	0,7	0,7	0,3	0,3	0,3
Niveleuses	1,1	0,7	0,7	0,7	0,3	0,3	0,3

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

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].

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions sont déterminées au moyen de facteurs d'émission calculés pour le FOD, le GNR et le GPL à partir des teneurs en soufre réglementaires et des pouvoirs calorifiques moyens des combustibles (cf. section générale énergie).

### **Emissions de NO<sub>x</sub>, COVNM et CO**

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 mixité du parc. Enfin, une méthode d'ajustement des facteurs d'émission, en prenant en compte un facteur de détérioration selon le Stage et l'âge des machines, est appliquée aux facteurs d'émission moyens des engins diesel, selon le guide EMEP/EEA 2016 [1031].

Pour information les facteurs d'émission correspondant à chaque niveau de la réglementation pour les engins diesel sont présentés ci-après :

Tableau 2 : Facteurs d'émission pour les NO<sub>x</sub> 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	988	988	988	988	988	988	541
Chargeuses compactes	891	891	727	574	574	574	360
Trancheuses	891	891	727	574	574	574	360
Rouleaux	1 053	842	641	363	363	363	363
Pelles mécaniques, finisseurs	1 053	842	641	363	302	37	37
Bulldozers, chargeuses, tractopelles	1 242	859	560	320	308	37	37
Niveleuses	1 067	876	571	327	190	38	38

Tableau 3 : Facteurs d'émission pour les COVNM 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	220	220	220	220	220	220	121

Chargeuses compactes	164	164	136	108	108	108	67
Trancheuses	164	164	136	108	108	108	67
Rouleaux	137	119	119	67	67	67	67
Pelles mécaniques, finisseurs	137	119	119	67	17	17	17
Bulldozers, chargeuses, tractopelles	140	121	93	53	18	18	18
Niveleuses	143	124	95	54	18	18	18

Tableau 4 : Facteurs d'émission pour les CO 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	705	705	705	705	705	705	705
Chargeuses compactes	636	636	500	500	500	500	454
Trancheuses	636	636	500	500	500	500	454
Rouleaux	595	595	458	458	458	458	458
Pelles mécaniques, finisseurs	595	595	458	458	458	458	458
Bulldozers, chargeuses, tractopelles	560	467	467	467	467	467	467
Niveleuses	476	476	333	333	333	333	333

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> des sources mobiles sont estimées à partir des facteurs d'émission proposés dans le Guidebook EMEP / EEA [935].

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

a/ combustion de carburants

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 [935 pour GPL, 141 et 1029 pour FOD et GNR] et varient selon le combustible et les années, en fonction de l'évolution des réglementations et de la mixité du parc. Enfin, une méthode d'ajustement des facteurs d'émission, en prenant en compte un facteur de détérioration selon le Stage et l'âge des machines, est appliquée aux facteurs d'émission moyens des engins diesel, selon le guide EMEP/EEA 2016 [1031].

Pour information les facteurs d'émission correspondant à chaque niveau de la réglementation pour les engins diesels sont présentés ci-après :

Tableau 5 : Facteurs d'émission pour les TSP 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	141	141	141	141	141	141	35
Chargeuses compactes	127	127	55	55	55	55	1
Trancheuses	127	127	55	55	55	55	1
Rouleaux	110	78	37	37	2	2	1
Pelles mécaniques, finisseurs	137	78	37	37	2	2	1
Bulldozers, chargeuses, tractopelles	140	65	28	28	2	2	1
Niveleuses	143	51	19	19	2	2	1

b/ abrasion mécanique

Les émissions de particules totales relatives à l'abrasion (usure des pneus, des freins, des embrayages et du revêtement routier) sont déterminées par rapport à une distance parcourue par les engins. Ces facteurs ont été déterminés par assimilation avec le transport routier.

#### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

a/ combustion de carburants

Les facteurs d'émission PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>1,0</sub> sont estimés à partir de données du CEPMEIP [49] et du Guidebook EMEP / EEA [935]. Les particules de diamètre inférieur à 2,5 µm sont supposées être également en totalité inférieures à 1,0 µm de diamètre.

b/ abrasion mécanique

Les facteurs d'émission sont déterminés par assimilation avec le transport routier.

#### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>.

a/ combustion de carburants

Les ratios retenus sont différents selon les combustibles considérés :

- Diesel [938] : évolution annuelle selon l'évolution du parc des engins (cf. base de données),
- GPL [935] : 4,9%.

b/ abrasion mécanique

Le ratio retenu varie entre 11,1 et 11,3% par assimilation avec le transport routier.

### **Métaux lourds (ML)**

Les émissions de métaux lourds sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible et supposés constants au cours des années (cf. section générale énergie).

### **Dioxines et furannes (PCDD-F)**

Les émissions de dioxines/furannes sont déterminées au moyen de facteurs d'émission provenant d'une étude de l'UNEP [748].

### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Pour les sources mobiles, les facteurs d'émission appliqués sont égaux à ceux du transport routier, et proviennent du guide EMEP/EEA [1134] (cf. section Transport routier). Pour les carburants d'origine biomasse, les mêmes facteurs d'émission que les composantes fossiles sont utilisés en teneur massique (i.e., en mg/t), mais sont recalculés en teneur énergétique (i.e., en mg/GJ) en appliquant les PCI spécifiques aux biocarburants.

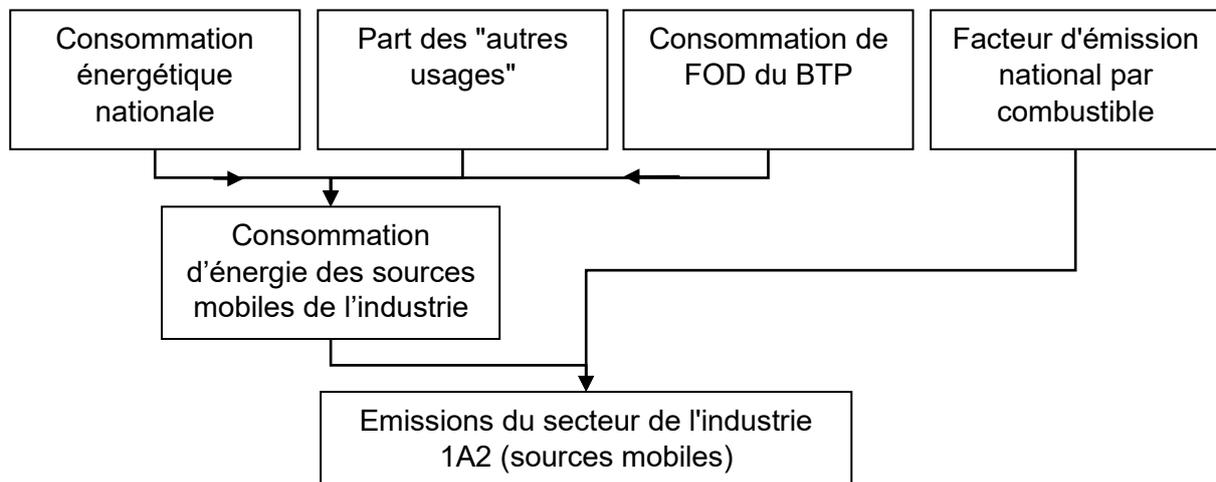
### **Polychlorobiphényles (PCB)**

Du fait des combustibles utilisés, aucune émission de PCB n'est attendue.

### **Hexachlorobenzène (HCB)**

Du fait des combustibles utilisés, aucune émission de HCB n'est attendue.

### **Logigramme du processus d'estimation des émissions.**



# Transports

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
20/02/2024	JMA	20/02/2024	JPC

## TRANSPORT AERIEN

Cette section ne porte que sur les rejets des aéronefs à l'exclusion des engins militaires. Les rejets relatifs aux infrastructures et activités connexes sont exclus sauf mention contraire.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.3.a
CEE-NU / NFR	1.A.3.a
SNAPc (extension Citepa)	08.05.01 à 08.05.06
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up basé sur les mouvements par type de couples avion x moteur, par destinations et caractéristiques du vol	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pour le cycle LTO, spécifiques aux types de couples avion x moteur et aux différentes phases du LTO.</li> <li>- Pour la partie croisière, par type d'appareils et selon les différentes phases de la croisière</li> </ul>

### Niveau de méthode :

Rang GIEC 3a

### Références utilisées :

- [14] CPDP - Pétrole (publication annuelle)
- [16] MEET 1997
- [68] OFEFP - Mesures pour la réduction des émissions de PM10. Document environnement n° 136, juin 2001
- [79] TNO - Particulate matter emissions (PM10 - PM2.5 - PM0.1) in Europe in 1990 and 1993 - February 1997
- [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
- [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
- [682] FE CO<sub>2</sub> par défaut du transport aérien, CENWG10 EG 5 : "Default values for air transport" - FNAM, Date : 11/02/2010
- [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
- [903] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 2, Chapitre 3.6
- [1137] Union des Aéroports Français (UAF), Données des vols non commerciaux ([www.aeroport.fr](http://www.aeroport.fr))
- [1142] International Civil Aviation Organization (ICAO) Carbon Emissions Calculator Methodology, Version 11, June 2018 (<https://www.icao.int/>)
- [1273] HEFA Production and Feedstock Selection 2019, CBSCI
- [1274] CARBURE : La plateforme de gestion des flux de biocarburants, <https://carbure.beta.gouv.fr/>
- [1286] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.b.vi-vii Road tyre and brake wear
- [1299] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.a Aviation

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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,
- 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 - dans le total CCNUCC - dans le total CEE-NU/NEC <sup>14</sup>	SNAP 08.05.03 - dans le total CCNUCC - hors total CEE-NU/NEC
Liaisons internationales	SNAP 08.05.02 - hors total CCNUCC - dans le total CEE-NU/NEC	SNAP 08.05.04 - hors total CCNUCC - hors total CEE-NU/NEC

### 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, soit environ 1 000 m).

<sup>14</sup> Format utilisé dans le cadre de la directive sur les plafonds d'émission nationaux (National Emission Ceilings)

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

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 Outre-mer (avec distinction des Territoires inclus dans l'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).

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

L'activité relative à la combustion est donc déterminée pour les divers éléments fins (par type de couple avion x moteur, phase, liaison, etc.). Face au volume important de données (le seul fichier de trafic des vols commerciaux par liaison type comporte plus d'un million d'enregistrements par année), et aux divers paramètres en relation, le traitement des données est réalisé au moyen d'une application informatique développée conjointement avec la DGAC, qui constitue un outil commun pour les inventaires d'émissions nationaux et divers rapportages de la DGAC.

Les émissions sont déterminées chaque année aussi bien pour les vols commerciaux et non commerciaux de manière à renseigner les différents sous-ensembles requis par le rapportage des inventaires. Des résultats individualisés par aéroport peuvent également être déduits pour des applications locales. De manière analogue, un traitement approprié permet de déterminer au sein du trafic international, la fraction correspondant aux liaisons intra UE.

Les émissions non liées à la combustion (abrasion des pneus, des freins, de la piste) sont déterminées en fonction du nombre de cycles LTO au moyen de facteurs d'émission.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Le facteur d'émission retenu est de 71,8 kg CO<sub>2</sub>/GJ (cf. partie générale combustion), pour le kérosène [1142] et 70,5 kg CO<sub>2</sub>/GJ pour l'essence aviation (AvGas) [682]. Les émissions sont calculées à partir des consommations d'énergie déterminées pour l'entité considérée (type de trafic, d'aéronef, d'aéroport, etc.).

Les émissions liées à l'incorporation de bio-kérosène sont calculées à partir du facteur d'émission de 70,70 kg CO<sub>2</sub>/GJ [1273, 1274] (cf. partie générale combustion dans le paragraphe sur les biocarburants) et sont rapportées dans la ligne biomasse.

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Selon les hypothèses des lignes directrices du GIEC [903], il est supposé que les émissions de CH<sub>4</sub> n'aient lieu que pendant les phases LTO et sont estimées à 10% des émissions des COV totaux.

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Un facteur d'émission de N<sub>2</sub>O 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.

### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les carburants avion contiennent peu de soufre. Le facteur d'émission de 22,7 g/GJ est utilisé (cf. partie générale combustion) pour le kérosène et pour l'AvGas. 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 NO<sub>x</sub>, COVNM et CO**

Si les valeurs des facteurs d'émissions par type de couple avion x moteur, par aéroport, par phase sont considérées dans le calcul, seuls les émissions et facteurs d'émissions agrégés au niveau des inventaires nationaux sont présentés in fine. Compte tenu des différents périmètres géographiques éventuellement considérés, ces facteurs d'émission moyennés peuvent différer [16, 1299, 128, et 1142]. Par conséquent de l'évolution de la structure pondérée du trafic et des appareils, les facteurs d'émission moyens varient au cours du temps.

#### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables et donc non estimées.

#### **Emissions de particules en suspension TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>, BC**

Les rejets de particules proviennent, d'une part, de la combustion et, d'autre part, de l'abrasion de différents organes des aéronefs et de la piste.

#### **PM Combustion**

Les émissions de particules lors de la combustion sont calculées à partir de la méthode FOA3 (First Order Approximation) développée par l'OACI [1144] pour calculer les émissions de particules des cycles LTO à partir des données de « smoke number » de la certification des moteurs.

La méthode est généralisée à la croisière. Les émissions de particules de la phase croisière (PM<sub>CR, FOA3</sub>) sont calculées à partir du ratio entre les émissions de PM du cycle LTO par la méthode FOA3 (PM<sub>LTO, FOA3</sub>) et les consommations du cycle LTO (Conso<sub>LTO</sub>), auquel on multiplie les consommations de la croisière (Conso<sub>CR</sub>).

$$PM_{CR,FOA3} = \frac{PM_{LTO,FOA3}}{Conso_{LTO}} Conso_{CR}$$

Pour la combustion (hors APU), les émissions de  $PM_{1,0}$  sont calculées à partir d'une spéciation des émissions de  $PM_{2,5}$ . Le ratio appliqué est de 82% de  $PM_{2,5}$ . Les ratios appliqués proviennent des ratios des facteurs d'émission issus de TNO [79].

Pour les APU, les facteurs d'émission de particules sont donnés dans le tableau ci-dessous pour les vols court et moyen-courrier d'une part et long-courrier d'autre part [128], la même spéciation granulométrique que pour la combustion (hors APU) est utilisée.

APU	Cours et moyens courriers g/t	Longs courriers g/t
TSP	25	40
$PM_{10}$	25	40
$PM_{2,5}$	20,6	33,8
$PM_{1,0}$	17,4	27,8

Les émissions de BC de la combustion (APU et hors APU) sont calculées à partir d'une spéciation des émissions de  $PM_{2,5}$ . Les ratios appliqués proviennent du guidebook EMEP/EEA sur les inventaires d'émissions de polluants [1286]. Les ratios appliqués sont de 57 % de  $PM_{2,5}$  pour le kérosène et de 18 % des  $PM_{2,5}$  pour l'AvGas.

Pour les APU, les références bibliographiques [128] n'indiquent pas si ce sont des matières filtrables et/ou condensables.

Pour la combustion dans les moteurs, la méthode FOA3 pour la combustion permet de distinguer les particules volatiles des non volatiles. Dans l'inventaire, les particules relatives à la combustion est le total de deux.

### *PM Abrasion*

Les facteurs d'émissions de particules provenant de l'abrasion couvrent l'usure des pneus, des freins et des pistes. Les facteurs d'émission ci-dessous représentent une pondération de ces trois sources. Les émissions sont indépendantes de la consommation d'énergie et les facteurs d'émission sont exprimés par rapport au nombre de cycles LTO sans autre distinction au cours du temps ou du type d'avion.

Le facteur d'émission pour les  $PM_{10}$  est 190 g/LTO [68]. Le facteur d'émission des TSP est arbitrairement prit comme étant le double du facteur d'émission des  $PM_{10}$ . Pour les  $PM_{2,5}$ , le facteur d'émission est extrapolé de la valeur des  $PM_{10}$  en se basant sur les ratios de l'abrasion du secteur routier [68, 1286]. Ainsi, le facteur d'émission des TSP est de 381 g/LTO, celui des  $PM_{2,5}$  est de 111 g/LTO et celui du BC est de 11 % des  $PM_{2,5}$ .

Pour l'abrasion, la référence bibliographique [68] n'indique pas si ce sont des matières filtrables et/ou condensables.

### *Métaux lourds (ML)*

Il n'y a pas d'émission attendue de métaux lourds lors de la combustion du kérosène car celui-ci en contient très peu.

Seules les émissions de plomb sont considérées pour l'AvGas (AVGAS 100LL), utilisée pour les avions munis de moteurs à pistons. Ce carburant, contrairement à l'essence automobile, contient toujours une petite part de plomb.

Le facteur d'émission de plomb pour l'AvGas est de 0,560 g/litre [667].

A noter que dans les rapports d'inventaires nationaux, le trafic aérien est caractérisé par une consommation de carburants tous types confondus. Par suite, le facteur d'émission apparent pour le plomb, rapporté à l'ensemble des carburants avions, évolue au cours du temps en fonction des quantités respectives des différents carburants.

***Dioxines et furannes (PCDD-F)***

Ces émissions ne sont pas prises en compte actuellement dans l'inventaire.

***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Ces émissions ne sont pas prises en compte actuellement dans l'inventaire.

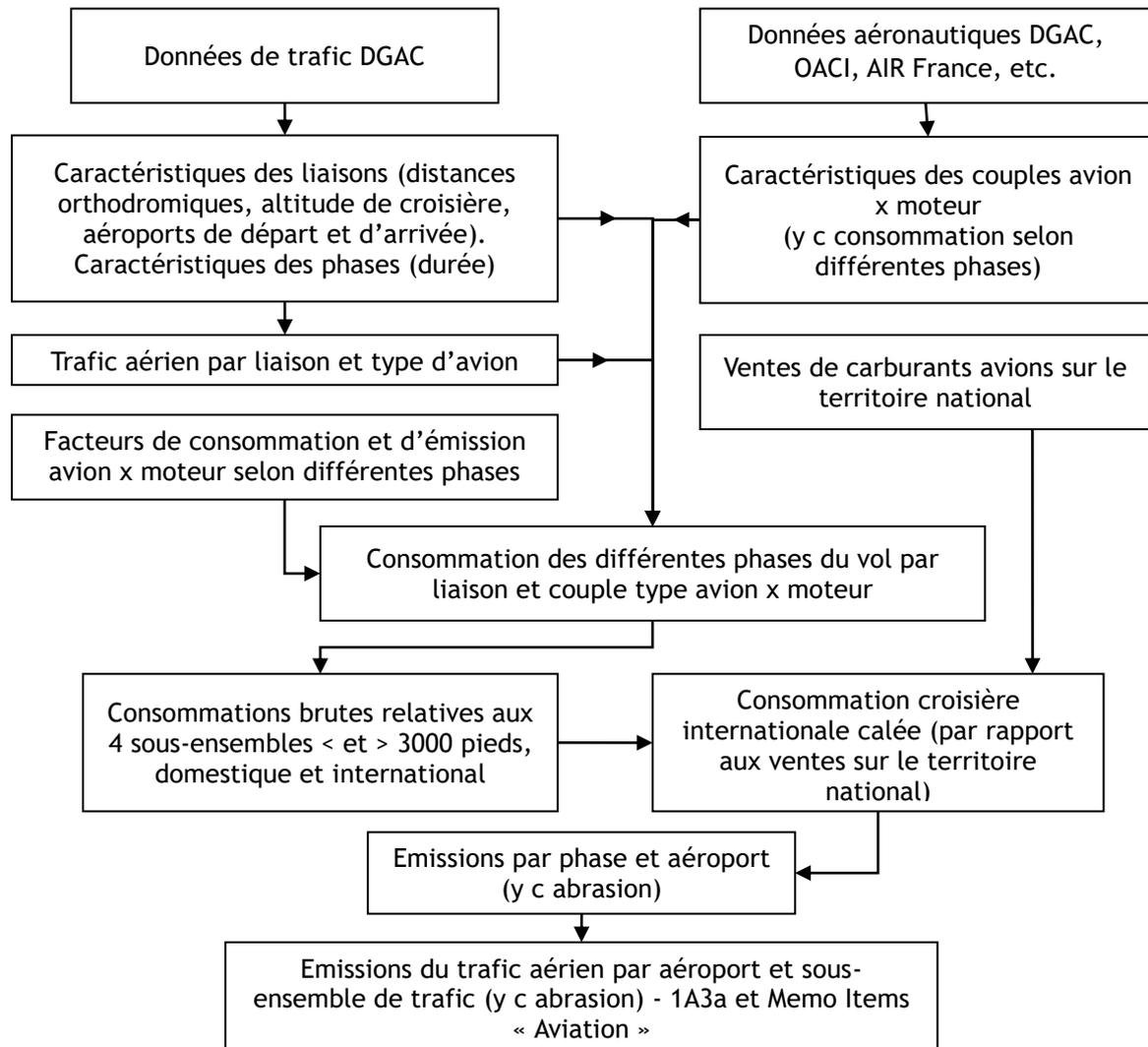
***Polychlorobiphényles (PCB)***

Les émissions de PCB liées à la combustion sont considérées comme nulles ou négligeables et donc non estimées.

***Hexachlorobenzène (HCB)***

Ces émissions ne sont pas prises en compte actuellement dans l'inventaire.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
09/02/2024	TVDR/FTL	19/02/2024	JMA/JPC

## TRANSPORT ROUTIER

Cette section concerne le transport routier de personnes et de marchandises à l'exclusion des engins dits « off-road » tels que les engins agricoles, forestiers, industriels, de loisirs, etc. Les émissions non directement liées à l'utilisation de l'énergie sont également traitées dans cette section.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.3.b
CEE-NU / NFR	1.A.3.b
SNAPc (extension Citepa)	07
CE / directive IED	(hors champ)
CE / E-PRTR	(hors champ)
CE / directive GIC	(hors champ)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Top-down	Recours à des modèles et des fonctions ou facteurs spécifiques à chaque catégorie, facteurs d'émission COPERT pour la plupart des substances. Pour le CO <sub>2</sub> , un facteur d'émission national est utilisé.

### Niveau de méthode (GES et PA) :

#### CO<sub>2</sub> :

Méthode de rang 3 (modèle d'émissions COPERT), avec des facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> nationaux mesurés en 2017 pour le gazole et l'essence. Un facteur d'émission spécifique national est utilisé pour le CO<sub>2</sub> du GNV. Pour le GPLc, il s'agit du facteur d'émission par défaut de COPERT.

#### CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O :

Méthode de rang 3 (modèle d'émissions COPERT), avec des facteurs d'émission prenant en compte les conditions de trafic national.

#### Autres polluants :

Méthode de rang 3 (modèle d'émissions COPERT), avec des facteurs d'émission prenant en compte les conditions de trafic national, pour CO, NO<sub>x</sub>, COVNM, NH<sub>3</sub>, PM, c'est-à-dire volumes de trafic par type de véhicule, vitesses en milieu urbain, rural, et autoroute, et les différents types de motorisation en fonction des normes EURO.

SO<sub>2</sub>, Métaux lourds : les émissions de ces polluants sont estimées sur la base des consommations des combustibles et de facteurs d'émissions.

HAP, PCCD/F, PCB : ces émissions de polluants sont déterminées sur la base des données de trafic par type de véhicule et de facteurs d'émissions.

#### Références utilisées :

- [14] Pétrole - statistiques annuelles des carburants
- [54] CCFA - Note annuelle sur le parc automobile français
- [55] Ministère de l'Équipement, 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 motorcycle en France
- [58] INRETS - BOURDEAU B. - Evolution du parc automobile français entre 1970 et 2020 - 1998
- [60] Ministère chargé des Transports - Rapports annuels de la Commission des Comptes des Transports de la Nation (CCTN)
- [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
- [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
- [387] L'officiel du cycle, de la moto et du quad - Numéro annuel spécial statistique
- [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 de l'île de Mayotte, année 2008, édition 2009 -
- [403] DIMENC - Bilan de l'énergie de Nouvelle-Calédonie 2007 à 2009 + coefficients de conversion
- [453] NERI - Heavy metal emissions for Danish road transport, technical report n° 780, 2010
- [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

[545] EEA - Données annuelles relatives à la surveillance des émissions de CO<sub>2</sub> 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, publication annuelle)

[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

[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).

[1132] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.3.b.vi-vii Road tyre and brake wear

[1134] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.3.b.i-iv Road transport

[1141] MTE/CGDD/SDeS : rapport annuel du bilan annuel des transports

[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.

[1286] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.b.vi-vii Road tyre and brake wear.

[1289] Service statistique du Ministère en charge de l'environnement - SDES. Données et études statistiques : Données relatives aux immatriculations des véhicules neufs et d'occasion.

[1291] ONISR (Observatoire national interministériel de la sécurité routière). La sécurité routière en France : Bilan de l'accidentalité annuel.

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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.

## Méthode générale d'estimation des émissions (communes au NIR et à l'IIR) :

### 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 CO<sub>2</sub> liées à l'utilisation de l'urée dans les systèmes de catalyse déNO<sub>x</sub> SCR (Selective Catalyst Reduction), rapporté dans la catégorie CRF 2.D.3.4 « autres usages non énergétiques de produits »,
- des émissions de CO<sub>2</sub> 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, bicarburant, 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 le Citepa (cf. OMINEA\_2F1\_refrigeration air conditioning).

Les étapes clés pour les calculs des émissions à l'échappement/évaporation

Le calcul des émissions se fait en trois étapes clés :

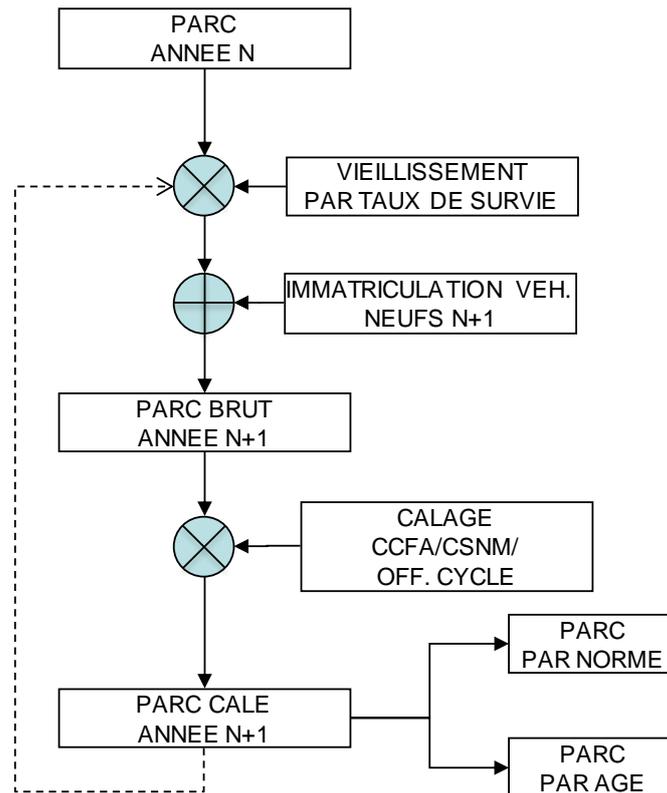
1. Le modèle OPALE est utilisé pour le calcul du parc statique (nombre) des véhicules immatriculés en France ;
2. Le calcul des parcs statique et dynamique des véhicules roulant sur la prise de carburant en France ;
3. La méthodologie COPERT [1134] est utilisée pour le calcul des émissions.

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, 511, 1141, 1156, 1289, 1291] qui soit compatible avec la méthodologie COPERT (COmputer Programme to Calculate Emissions from Road Traffic) [1134].

Les données de parc statique disponibles dans les statistiques ne détaillent pas la structure plus fine nécessaire au calcul des émissions (type de véhicule, type de motorisation, cylindrée, rattachement aux normes d'émissions). A partir d'un parc statique détaillé, estimé pour l'année 1960, le calcul de parc dans OPALE se fait ainsi en 3 étapes, pour chaque année d'évaluation :

- i. Des taux de survie en fonction de l'âge des véhicules sont appliqués à la structure fine du parc de l'année précédente, permettant ainsi de supprimer un certain nombre de véhicules en fonction de leur âge (i.e. vieillir le parc). Ces taux de survie sont calculés ou issus de la littérature.
- ii. Au parc précédant, le parc de véhicules neufs est ajouté via les données d'immatriculations (issues de données statistiques [55, 56, 1289]).
- iii. Le parc résultant des étapes précédentes est finalement calé pour correspondre au parc global de référence (issu de données statistiques [54, 551, 1156]), [1291]).



Logigramme du processus d'estimation du parc statique dans le modèle OPALE

Hypothèse est faite que 30 % des immatriculations dans l'année qui précèdent la mise en place d'une norme sont conformes à ladite norme [547].

De par son principe de calcul, le modèle OPALE estime un parc statique au 31 décembre de chaque année et pour chaque catégorie (type de véhicules, motorisation, cylindrée/PTAC/norme). Ce principe méthodologique est appliqué pour la période 1960-2000 pour les VP, VUL et PL (y compris bus et car), et pour toute la période depuis 1960 pour les 2 roues, tel que détaillé ci-après.

- Calcul du parc statique pour les VP, VUL et PL (y compris bus et car) immatriculés en France

#### Le parc global de référence

Pour la période 1960-2000, le parc global de référence retenu est celui établi par le CCFA [54]. Pour les VP et les VUL, ce parc était, de l'avis de nombreux experts, le plus représentatif avant exploitation des données du contrôle technique, car prenant en compte les véhicules en fin de vie retirés du parc grâce aux données des vignettes fiscales (obligatoires pour circuler jusqu'en 2000). Ces données détaillent le parc par âge en fonction du type de véhicule. Pour les PL (y compris les bus et cars), le parc est détaillé tel que présenté dans l'encadré à la fin de cette section.

Pour la période depuis 2010, le parc global de référence retenu est celui établi par le SDES [1156]. Il est issu de l'appariement du fichier des immatriculations et du fichier des contrôles techniques. Les contrôles techniques ont lieu tous les deux ans à partir de la

4<sup>ème</sup> année pour les VP et VUL, tous les ans à partir de la 1<sup>ère</sup> année pour les PL et tous les 6 mois à partir du 6<sup>ème</sup> mois pour les bus et cars.

Les données du SDES [1156] détaillent le parc par âge en fonction du type de véhicule et de la motorisation. Elles sont traitées par le Citepa afin de distinguer les motorisations suivantes : Diesel, Essence, hybride rechargeable ou non et électrique.

Les données de parc du CCFA [54] sont disponibles pour la période 2001-2009. Elles ont été estimées en faisant des hypothèses prospectives des vignettes fiscales, ce qui peut laisser penser que l'incertitude de la donnée augmentait au fil des années. Afin de rendre la série temporelle cohérente, le parc global de référence pour cette période est ajusté en considérant (i) le parc par âge en fonction du type de véhicule et de la motorisation calculé via OPALÉ pour l'année 2000 et (ii) le parc du SDES [1156] pour l'année 2010. Le parc résultant est au même niveau de détail que celui du parc SDES.

### Les immatriculations de véhicules neufs

Les immatriculations de VP neufs par cylindrée et de VUL et PL neufs par PTAC sont issus des données DAEI [55], ARGUS [56] et SDES [1289].

### Les taux de survie

Pour la période 1960-2000, les taux de survie annuels des VP et des VUL sont calculés à partir des deux jeux de données précédents (parc par âge et immatriculations) par type de véhicule. Pour les autres types de véhicules, les taux de survie sont ceux de la littérature [311] :

- Pour les bus et cars, les taux de survie sont appliqués en fonction du type de motorisation (diesel et roulant à essence) ;
- Pour les PL, les taux de survie sont appliqués en fonction de leur catégorie :
  - Poids-lourds rigides diesel ;
  - Poids-lourds articulés diesel ;
  - Poids-lourds essence.

Pour la période depuis 2001, le parc est calculé selon l'équation suivante :

$$Parc_{n,type,moteur,classe,âge} = \frac{immat_{n-âge,type,moteur,classe}}{\sum_{classe} immat_{n-âge,type,moteur,classe}} \cdot ParcCalage_{n,type,moteur,âge}$$

Où :

- Parc* : Parc statique calculé au format COPERT [nombre de véhicules] ;
- n* : année d'évaluation ;
- type* : type de véhicules [VP, VUL, PL rigide, PL articulé, Bus ou Car] ;
- moteur* : type de motorisation/carburant [diesel, essence, électrique ou hybride rechargeable] ;
- classe* : catégorie du véhicule en fonction de sa taille ou masse ;
- âge* : âge du véhicule ;
- immat* : nombre d'immatriculations de véhicules neufs ;

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

Pour les véhicules roulant au GPL ou au GNV, la structure fine est obtenue en appliquant la répartition fine des véhicules essences, car en général ces véhicules ont une double motorisation dont la motorisation essence.

*Le niveau de détail du parc global de référence :*

- Pour les VP et VUL :
  - [1960-2000] Parc par âge et type de véhicule ;
  - [A partir de 2001] Parc par âge, type de véhicule et type de motorisation (diesel, essence, hybride rechargeable et électrique).
    - Pour les PL :
      - [1960-2000] Parc par catégorie véhicule :
        - Poids-lourds rigides diesel ;
        - Poids-lourds articulés diesel ;
        - Poids-lourds essence.
      - [A partir de 2001] Parc par catégorie de véhicule, âge et type de motorisation :
        - Poids-lourds rigides diesel ;
        - Poids-lourds articulés diesel ;
          - Poids-lourds essence ;
          - Poids-lourds électrique ;
        - Poids-lourds articulés électrique.
    - Pour les bus et cars :
      - [1960-2000] : Parc pour l'ensemble des bus et cars ;
      - [A partir de 2001] : Parc par type de véhicule (bus et cars séparément), âge et type de motorisation (diesel et électrique).

➤ Calcul du parc statique pour les 2 roues immatriculés en France

Le parc global de référence est celui établi par le CSNM [57] (jusqu'en 2005) et par l'officiel du cycle [387] (entre 2007 et 2011 inclus). Depuis 2012, il n'y a plus de données statistiques pour ce parc global (incluant les différentes catégories, i.e. 2 roues, mobylettes, motocyclettes, tricycles, quadricycles et voiturettes). Le parc de référence est donc établi en appliquant l'évolution du parc 2 roues issu des enquêtes de l'ONISR [1291] sur la série historique précédente.

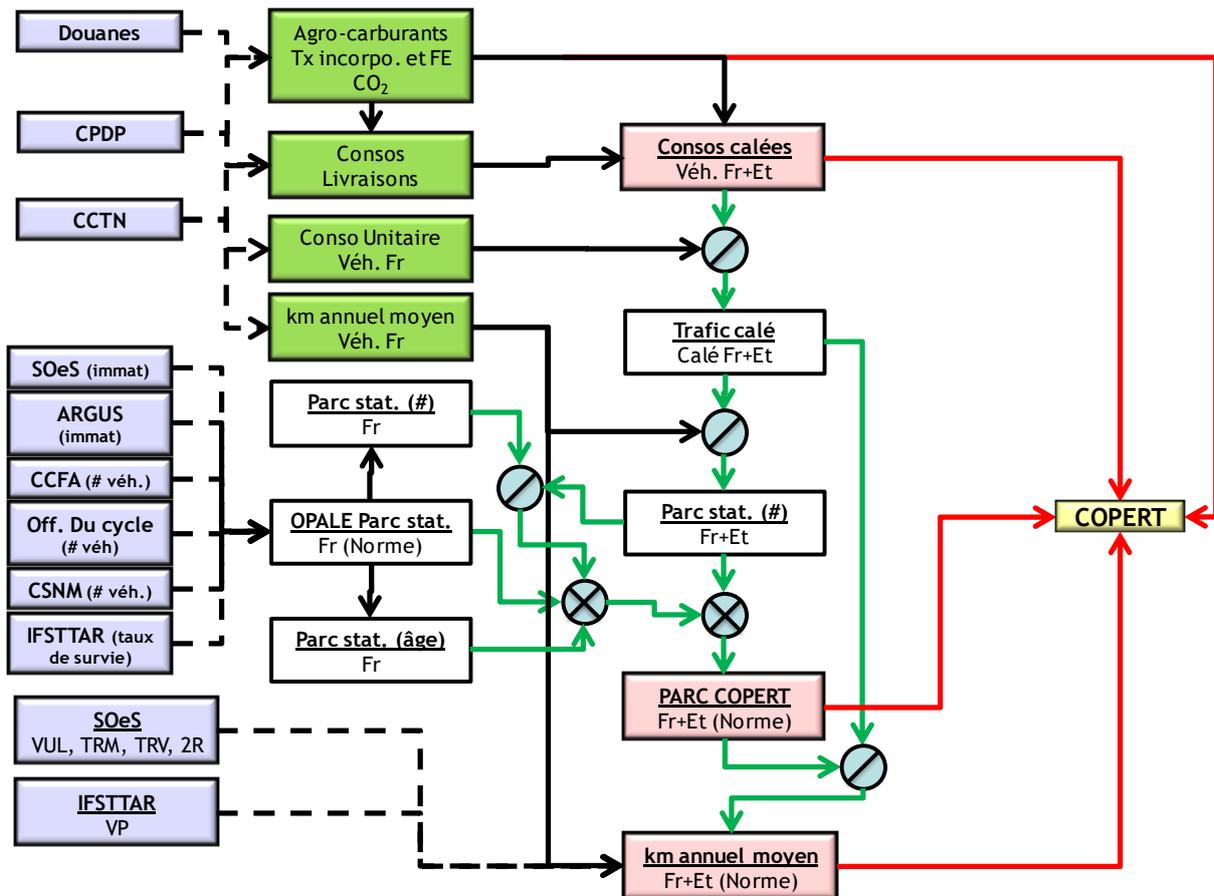
Les immatriculations des 2 roues neufs par cylindrée sont issues des données DAEI [55]. Pour les 2 roues dont la cylindrée est inférieure à 50 cm<sup>3</sup>, les immatriculations ne sont disponibles que depuis mi-2004 (date d'obligation d'immatriculation de cette catégorie de véhicules). Avant cette date, il est fait l'hypothèse que les ventes représentent les immatriculations.

Les taux de survie sont ceux de la littérature [311].

## 2/ Le calcul du parc statique des véhicules roulant sur la prise de carburant en France

Le parc par norme calculé précédemment 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].

$$\begin{aligned}
 Conso_{calée,Fr+Et}(type\ véh, motorisation) &= Conso_{territoire,Fr+Et}(type\ véh, motorisation) \\
 &\times \frac{\sum_i Conso_{territoire,Fr+Et}(i, motorisation) + solde}{\sum_i Conso_{territoire,Fr+Et}(i, motorisation)}
 \end{aligned}$$

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 [ $Trafic_{calé,Fr+Et}(type\ veh, motorisation)$ ] est obtenu en divisant les consommations obtenues précédemment par la consommation unitaire [60, 1141] par type de véhicules (français) et par motorisations [ $Conso\ Unitaire_{Fr}(type\ veh, motorisation)$ ].

$$Trafic_{calé,Fr+Et}(type\ véh, motorisation) = \frac{Conso_{calé,Fr+Et}(type\ véh, motorisation)}{Conso\ Unitaire_{Fr}(type\ véh, motorisation)}$$

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 véhicules (VP, VUL, PL, Bus et cars et les deux roues) circulant sur prise carburant française [ $Nb\ véhicule_{calé,Fr+Et}(type\ veh, motorisation)$ ].

$$Nb\ véhicule_{calé,Fr+Et}(type\ véh, motorisation) = \frac{Trafic_{calé,Fr+Et}(type\ véh, motorisation)}{km_{Fr}(type\ véh, motorisation)}$$

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 :

$$\begin{aligned} Nb\ véhicule_{calé,Fr+Et}(type\ veh, motorisation, \hat{age}) \\ = Nb\ véhicule_{OPALE}(type\ veh, motorisation, \hat{age}) \times \alpha_{type\ véh, motorisation}^{(\hat{age}_{max} - \hat{age})} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \sum_{\hat{age}} Nb\ véhicule_{OPALE}(type\ véh, motorisation, \hat{age}) \times \alpha_{type\ véh, motorisation}^{(\hat{age}_{max} - \hat{age})} \\ = Nb\ véhicule_{calé,Fr+Et}(type\ véh, motorisation) \\ = \sum_{\hat{age}} Nb\ véhicule_{calé,Fr+Et}(type\ véh, motorisation, \hat{age}) \end{aligned}$$

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.

$$Parc_{mi\ année}(N) = \{ Parc_{fin\ année}(N-1) + Parc_{fin\ année}(N) \} / 2$$

### 3/ La méthodologie COPERT [1134]

Développé au travers de projets européens financés par l'AEE et la Commission européenne, cette méthodologie est utilisée pour estimer les émissions à l'échappement et par évaporation. Ses données d'entrée sont les paramètres mentionnés précédemment.

Dans un premier temps, la consommation globale de chaque carburant (essence + bio-essence, gazole + bio-gazole, GPLc, GNV) est calculée sur la base des divers paramètres renseignés (parc, trafic, pourcentage d'utilisation de différents réseaux et les vitesses associées, etc.). Le rapprochement de ces consommations calculées avec les ventes de carburants conduit à un processus d'ajustement des distances annuelles parcourues jusqu'à l'obtention de balances énergétiques satisfaisantes. Les valeurs des distances 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].

Toutes les valeurs d'ajustement sont revues et, si nécessaire, recalculées chaque année. L'ajustement est fait en conséquence sur les distances annuelles parcourues pour tous les véhicules et toute la série temporelle.

### Les bilans énergétiques

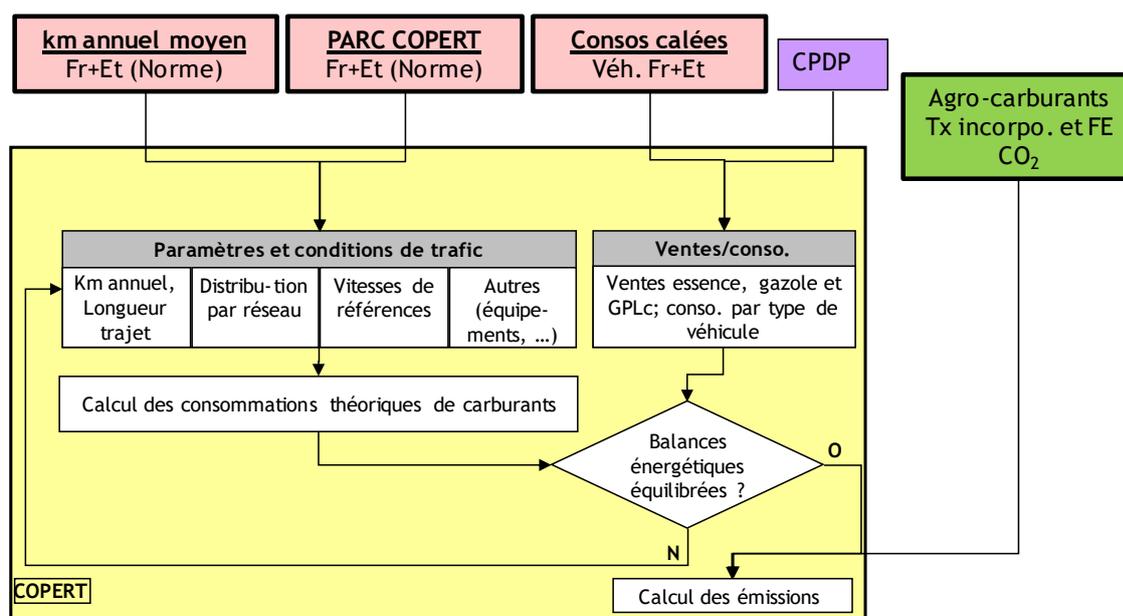
Ils servent dans la méthodologie COPERT d'éléments de calage et de validation globale, par le biais d'un processus d'ajustement itératif entre le calcul théorique COPERT de la consommation de carburant (dépendant des paramètres de circulation) et la valeur statistique entrée<sup>15</sup> (respectivement pour les différents carburants) (cf. logigramme ci-dessous).

La différenciation entre les livraisons sur le territoire français (ventes CPDP [14] auxquelles sont soustraits les usages non routiers) et les consommations sur le territoire français [60, 1141] 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).

---

<sup>15</sup> 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).



Logigramme du processus d'estimation des émissions dans le modèle COPERT.

Pour ce qui est des données et conditions de circulation, celles-ci concernent :

- 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 [1291] est prise en compte pour représenter au mieux la réalité des conditions de trafic en France.

A ce stade du processus, le kilométrage et donc le parc roulant (i.e. trafic = véhicules x kilomètres parcourus) sont disponibles ainsi que le bilan énergétique par type de véhicule.

Dans un deuxième temps, la méthodologie COPERT permet d'estimer les émissions de certains polluants sur la base du jeu de paramètres déterminés. Des tests de sensibilité ont montré que l'incidence de la paramétrisation est relativement limitée du fait que les fourchettes plausibles de valeurs sont assez bien maîtrisées et que pour obtenir une balance

énergétique équilibrée, l'incidence de la modification d'un paramètre nécessite généralement la modification d'un ou plusieurs paramètres dont l'effet sera antagoniste.

Les émissions de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) par évaporation, véhicule en fonctionnement, à l'arrêt ou au remplissage du réservoir sont aussi déterminées [1155].

La consommation d'huile servant de lubrifiant dans les moteurs et qui est brûlée avec le carburant est déterminée en utilisant la méthodologie développée par le NERI [453]. La consommation d'huile est fonction du type de véhicule (VP, VUL, PL, 2 roues hors motocyclettes) et de l'âge de celui-ci en considérant que les véhicules neufs consomment entre 0,25 litre / 10 000 km (2 roues) et 2,5 litres / 10 000 km (PL). Pour les motocyclettes et les motos à moteur 2 temps, l'hypothèse que l'huile est mélangée à l'essence à hauteur de 3 % en volume est retenue.

L'huile consommée contribue en tant qu'hydrocarbure aux émissions liées à la combustion de manière similaire aux carburants, à l'exception des métaux lourds pour lesquels les compositions différenciées des huiles et des combustibles sont prises spécifiquement en compte.

Les émissions relatives aux huiles des moteurs 2 temps sont rapportés dans le secteur du transport routier (1.A.3.b), alors que celles relatives aux huiles des moteurs 4 temps sont rapportés dans le secteur (NFR-2.G/CRF-2.D.1)

Les données de calcul pour les émissions liées à l'abrasion

#### 1/ Usure des plaquettes de freins et des pneus [499, 1186, 1134] :

Les émissions de particules, de métaux lourds (ML) et de HAP sont prises en compte. Les émissions de particules sont calculées comme étant le produit du parc roulant (par grand type de véhicule) par un facteur d'émission (par grand type de véhicule) puis par un facteur correctif de vitesse. Les ML et les HAP sont traités comme des spéciations des émissions de particules.

Les émissions de HAP disparaissent à partir de 2010 car le règlement REACH [1032] impose de ne plus utiliser d'huile dans la fabrication des pneumatiques. De plus, l'huile n'a jamais été employée dans la fabrication des pneumatiques pour les PL.

La diminution progressive des émissions de HAP est liée à l'hypothèse qu'un pneu a une durée de vie de 40 000 km. Les émissions seront donc nulles quand les pneumatiques achetés en 2009 auront tous été retirés de la circulation.

#### 2/ Usure des routes [1186] :

Le calcul couvre les émissions de particules (sans remise en suspension), de métaux lourds et de HAP. Les émissions sont calculées comme étant le produit du parc roulant (par grand type de véhicule) par un facteur d'émission (par grand type de véhicule). Les ML et les HAP sont traités comme des spéciations des émissions de particules.

Les données de calcul pour les émissions liées à l'utilisation des climatisations

Cf. 2.F.1

## Outre-mer

Les données pour le calcul des émissions pour l'Outre-mer y compris les PTOM sont dérivées en partie des données de la métropole pour ce qui est de la structure de parc roulant.

Pour le parc statique, un parc agrégé (VP, VUL, PL, 2 Roues) est d'abord calculé à partir des données de l'INSEE [318, 319, 320, 321, 322] et du SDES [55] pour ces territoires ainsi que pour la métropole. Les ratios par grands types de véhicules entre les données de la métropole et les données de l'Outre-mer sont appliqués à chaque catégorie de véhicule (norme - cylindrée/poids) du parc de la métropole pour obtenir le parc de l'Outre-mer global (y compris PTOM).

Les consommations de carburants dans ces territoires sont données dans le bilan énergétique réalisé en interne [318, 319, 320, 321, 400, 401, 402 et 403]. Les kilométrages annuels moyens introduits dans la méthodologie COPERT [1134] sont ceux de la métropole. Des ajustements de ces kilométrages annuels moyens sont effectués pour obtenir une balance énergétique équilibrée puis, in fine, le parc roulant et ainsi calculer les émissions. Les émissions par territoire sont réparties au prorata des consommations de carburants dans chaque territoire.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont issues de la combustion des carburants (essence, gazole, gaz naturel véhicule et GPLc) et des agro-carburants (bio-essence et bio-gazole). L'incorporation d'agro-carburant n'a lieu qu'en métropole.

L'estimation des émissions de CO<sub>2</sub> issues de la combustion des agro-carburants est réalisée en intégrant au modèle méthodologique COPERT [1134] les pourcentages massiques d'agro-carburants dans les produits pétroliers ainsi que leurs facteurs d'émission. Il est ainsi possible de distinguer les émissions de CO<sub>2</sub> issues des produits pétroliers et celles issues des agro-carburants. Ces dernières étant exclues du total des émissions des gaz à effet de serre dans le cadre de la convention sur les changements climatiques.

Les facteurs d'émission du gazole et de l'essence, sont calculés en fonction du ratio hydrogène sur carbone (H/C), mesuré en 2017 sur des carburants vendus en France (mesures additionnelles au cadre de la directive UE sur la qualité des carburant-FQMS, cf. section *OMINEA\_1A\_fuel emission factor*). La consommation d'huile des moteurs 2 temps est aussi prise en compte. Pour les agro-carburants, le détail des facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> est présenté en section 1.A.

Les facteurs d'émission sont fournis dans le tableau ci-dessous.

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la combustion de l'huile dans les moteurs 4 temps (huile qui remonte du carter moteur dans la chambre de combustion) sont rapportées dans la section 2.D.1.

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la l'utilisation d'urée dans les catalyseurs SCR sont rapportées dans la section 2.D.3.4 en considérant que les émissions de CO<sub>2</sub> correspondent à 23,8% de la consommation d'urée.

Il est à noter que la totalité des émissions de CO<sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> g/kg
205	Gazole	3175
208	Essence plombée	3241
	Essence non plombée	3189
25B	Bio Gazole	cf. Partie générale combustion
28B	Bio Essence	
303	GPLc	3002
219	Huile	2947
302	GNV	cf. Partie générale combustion

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Les facteurs d'émissions de méthane sont issus du guidebook EMEP/EEA [1134]. Ils sont fonction de divers paramètres comme : le type de véhicule, la norme d'émission, le réseau et la température.

Pour estimer les émissions de CH<sub>4</sub> issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions de CH<sub>4</sub> des produits pétroliers ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Les facteurs d'émission de N<sub>2</sub>O sont issus du guidebook EMEP/EEA [1134].

Pour estimer les émissions de N<sub>2</sub>O issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission de N<sub>2</sub>O des produits pétroliers ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

Les facteurs d'émission N<sub>2</sub>O 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.

#### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

##### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions de SO<sub>2</sub> sont fonction du contenu en soufre des carburants.

Pour estimer les émissions de SO<sub>2</sub> issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions de SO<sub>2</sub> des produits pétroliers ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

##### Emissions de NO<sub>x</sub>

Les facteurs d'émission de NO<sub>x</sub> sont issus du guidebook EMEP/EEA [1134].

Pour estimer les émissions de NO<sub>x</sub> issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions de NO<sub>x</sub> des produits pétroliers ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

#### **Emissions de COVNM**

Les émissions de COVNM sont dues à la combustion mais aussi aux évaporations de l'essence. Les facteurs d'émissions de COVNM sont issus du guidebook EMEP/EEA [1134, 1155].

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

#### **Emissions de CO**

Les facteurs d'émissions de CO sont issus du guidebook EMEP/EEA [1134].

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

Emissions de NH<sub>3</sub>

Les facteurs d'émission de NH<sub>3</sub> sont issus du guidebook EMEP/EEA [1134].

Pour estimer les émissions de NH<sub>3</sub> issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions de NH<sub>3</sub> des produits pétroliers ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

Les facteurs d'émission NH<sub>3</sub> 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 poussières totales en suspension (TSP)**

Les facteurs d'émission de TSP sont issus du guidebook EMEP/EEA [1132, 1134].

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

Il convient de préciser que la procédure de mesure réglementée pour la caractérisation de la masse des particules de gaz d'échappement des véhicules exige que les échantillons soient prélevés à une température inférieure à 52 ° C. À cette température, les particules contiennent une grande fraction d'espèces condensables. Par conséquent, les facteurs d'émission en masse de particules pour la combustion sont considérés comme comprenant à la fois des matières filtrables et condensables.

Pour l'abrasion, le guidebook [1132] n'indique pas si ce sont des matières filtrables et/ou condensables.

#### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Pour la combustion (des différents carburants) TSP=PM<sub>10</sub>=PM<sub>2,5</sub>.

Les PM<sub>1,0</sub> se distribuent par rapport aux TSP à raison de 92% pour le diesel et 75% pour l'essence.

Pour l'abrasion les spéciations de TSP sont les suivantes :

	Pneus	Freins	Route
PM <sub>10</sub> /TSP	60%	98%	50%
PM <sub>2.5</sub> /TSP	42%	39%	27%
PM <sub>1.0</sub> /TSP	6%	10%	-

#### Emissions de carbone suie (BC)

Pour la combustion les spéciations de BC (en %) par rapport aux émissions de PM<sub>2.5</sub> sont les suivantes :

VP et VUL essence		PL (yc Bus et cars) diesel	
PRE-ECE	2%	Conventionnelle	50%
ECE 15 00/01/02/03	5%	Euro I et II	65%
ECE 15 04	20%	Euro III	70%
Euro 1 et 2	25%	Euro IV et V	75%
Euro 3 et +	15%	Euro VI	15%
VP et VUL diesel		Mobylette	
Conventionnelle	55%	Conventionnelle	10%
Euro 1	70%	Euro 1 et +	20%
Euro 2	80%	Motocycles	
Euro 3	85%	Conventionnelle	15%
Euro 4	87%	Euro 1 et +	25%
Euro 5 et+	15%		

Pour l'abrasion les spéciations de BC (%) par rapport aux émissions de TSP sont les suivantes :

	Pneus	Freins	Route
BC/TSP	15,3%	2,61%	1,06%

#### Métaux lourds (ML)

Les émissions de métaux lourds sont issues de la combustion des carburants, de l'huile et de l'abrasion des pneus, freins et de la route.

Il s'agit d'une spéciation des émissions particulières pour les abrasions [1134]. Les émissions de métaux lourds des combustibles et de l'huile [453, 1134] sont liées à la composition métallique des produits.

Contenu en métaux lourds des huiles	Moteur Essence	Moteur Diesel	Moteur Gpl =essence
	g/t	g/t	g/t
As	-	-	-
Cd	5	5	5
Cr	4,5	12,5	4,5
Cu	17,5	9	17,5

Hg	-	-	-
Ni	5	5	5
Pb	15	30	15
Se	-	-	-
Zn	1 000	1 000	1 000

Contenu en métaux lourds des carburants	Essence	Gazole	GNV
	mg/t	mg/t	mg/t
As	0,30	0,10	0,591
Cd	0,20	0,05	0,003
Cr	6,3	8,5	0,064
Cu	4,5	5,7	0,306
Hg	8,7	5,3	0,004
Ni	2,3	0,20	0,159
Pb	1,5	0,3	0,663
Se	0,20	0,10	0,002
Zn	33	18	0,074

Contenu en métaux lourds des pneus, des freins et de la route	Pneus [453,499]	Freins [1134]	Route [1134]
	ppm	ppm	ppm
As	0,8	67,5	122
Cd	2,6	22,4	0
Cr	3,6	2 311	0
Cu	21,5	30 600	188
Ni	0	327	40,8
Pb	80,5	6 072	49,7
Se	20	20	0
Zn	9 000	8 676	4 000

### ***Dioxines et furannes (PCDD-F)***

Les facteurs d'émission de dioxines et furanes sont issus du guidebook EMEP/EEA [1134].

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

Il n'y a pas d'émission attendue de cette substance lors de l'abrasion.

### ***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Les facteurs d'émission de HAP (somme des 4 retenus par la CEE-NU) sont issus du guidebook EMEP/EEA [1134].

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

Les facteurs d'émission de HAP de l'abrasion des pneus, des freins et de la route sont issus du guidebook EMEP/EEA [1132] ainsi que d'une étude du WBCSD [499].

La teneur en HAP dans les pneus neufs devient nulle après 2010 car le règlement REACH impose de ne plus utiliser d'huile dans la fabrication des pneumatiques. De plus, l'huile n'a jamais été employée dans la fabrication des pneumatiques pour les PL.

#### ***Polychlorobiphényles (PCB)***

Les facteurs d'émission de PCB sont issus du guidebook EMEP/EEA [1134].

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

Il n'y a pas d'émission attendue de cette substance lors de l'abrasion.

#### ***Hexachlorobenzène (HCB)***

Il n'y a pas d'émission attendue de cette substance.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
24/01/2024	FTL	14/02/2024	JMA/JPC

## TRANSPORT FERROVIAIRE

Cette section couvre les émissions du transport ferroviaire de voyageurs et de marchandises. Les émissions non directement liées à l'utilisation de l'énergie sont également traitées dans cette section.

Les émissions sont essentiellement dues à l'utilisation de combustible fossile (gazole) par les locomotives et autres engins à moteurs Diesel tels que les locotracteurs. Les émissions issues de l'abrasion des freins, des roues, des rails et des caténaires par les engins à moteur Diesel et électriques sont aussi prises en compte.

Les émissions des sources fixes (gares, locaux, etc.) ne sont pas considérées ici. Elles sont comptabilisées dans le secteur résidentiel/tertiaire.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.3.c
CEE-NU / NFR	1.A.3.c
SNAPc (extension Citepa)	08.02.01 à 08.02.05
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Top-down	Valeurs nationales par défaut

### Niveau de méthode :

#### CO<sub>2</sub> :

Méthode de rang 2 (avec des facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> nationaux spécifiques).

#### CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O :

Méthode de rang 1.

#### Polluants :

La méthode de rang 2 est appliquée pour l'estimation des émissions de polluants en général. Cela étant, pour un type de combustible spécifique et pour tous les polluants à l'exception des NO<sub>x</sub>, de CO, des COVNM, des BC et des TSP, les facteurs d'émission de rang 2 sont les mêmes que les facteurs d'émission de rang 1 dans le guide EMEP [1285].

## Références utilisées :

- [14] CPDP - Pétrole (publication annuelle)
- [60] Ministère chargé des Transports - Rapports annuels de la Commission des Comptes des Transports de la Nation (CCTN)
- [104] SNCF - Mission environnement
- [141] Directive 2004/26/CE du Parlement européen et du Conseil, du 21 avril 2004, modifiant la directive 97/68/CE sur le rapprochement des législations des Etats membres relatives aux mesures contre les émissions de gaz et de particules polluants provenant des moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers
- [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
- [341] COOPER D.A. - HCB, PCB and PCDD/F emissions from ships, Atmospheric Environment 39, Page 4908, Avril 2005
- [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
- [668] Edition annuelle du Bilan RSE SNCF
- [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
- [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
- [1223] SNCF - Données de trafic ferroviaire issue du Data Lab pour l'année 2018
- [1281] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.b.i-iv Road transport
- [1285] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.c Railways 2023
- [1286] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.b.vi-vii Road tyre and brake wear 2023

## Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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 polluants 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 à remplacer le fioul domestique en 2006. Ces trois combustibles ont quasiment les mêmes caractéristiques physiques (excepté pour le soufre), mais ont des taxes différentes.

Le GNR (à partir de 2011) et le gazole (à partir de 2006) ont permis l'incorporation d'agro-carburants.

Le transport ferroviaire n'a lieu qu'en métropole.

Tous les types de véhicules (électriques et Diesel) sont considérés pour les émissions dues à l'usure du matériel.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

#### 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], des données trafic de la SNCF de 2018 [1223] et de la CCTN [60].

Les émissions de CO, COVNM, 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] jusqu'en 2005.

Les données SNCF [1223] fournissent le trafic des trains thermique et électrique pour l'année 2018. Une interpolation est réalisée entre 2005 et 2018 pour obtenir une série temporelle cohérente.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> 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).

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Le facteur d'émission tiré de la section routier du Guidebook EMEP/EEA [1281] (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 [1281]).

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 [1281]) ainsi que le PCI du combustible.

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

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 [1281] 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 [1281]).

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 [1281])

Quand on se réfère au guide méthodologique EMEP/EEA 2019 [1285] pour le secteur ferroviaire (1A3c), la valeur proposée pour l'approche tier 2 est de 24 g/t soit 0,57 g/GJ (en prenant comme source le secteur 1A3biii, i.e. les poids lourds conventionnels).

Les valeurs par défaut des lignes directrices GIEC 2006 (comprises entre 14,3 g/GJ et 85,8 g/GJ avec une valeur moyenne de 28,6 g/GJ) sont considérées trop hautes par la France.

### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions sont déterminées au moyen de facteurs d'émission déterminés à partir des teneurs en soufre moyennes et des pouvoirs calorifiques moyens des combustibles (cf. Partie générale combustion).

En 2006, le gazole remplace progressivement le FOD (fioul ordinaire domestique), ce qui implique l'usage de deux facteurs d'émission. Le passage du gazole au gazole non-routier (GNR) en 2011 n'implique pas de changement de facteurs d'émission, ces deux combustibles ayant les mêmes propriétés.

#### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Les émissions sont estimées au moyen de facteurs d'émission spécifiques tirés du Guidebook EMEP/EEA [1285]. Les facteurs d'émissions évoluent selon les directives appliquées aux motorisations ferroviaires au fil du temps ([1209], [1029], [141]). Les valeurs sont :

NOx(g/GJ)	Pre-control	Phase I	Phase II	Phase III A	Phase III B	Phase V
Manœuvres de locomotives	1 958	1 958	1 277	730	400	219
Locomotives et autorails	2 268	2 268	1 479	1 373	1 373	752

### **Emissions de COVNM**

Les émissions sont estimées au moyen de facteurs d'émission spécifiques tirés du Guidebook EMEP/EEA [1285]. Les facteurs d'émissions évoluent selon les directives appliquées aux motorisations ferroviaires au fil du temps ([1209], [1029], [141]). Les valeurs sont :

COVNM (g/GJ)	Pre-control	Phase I	Phase II	Phase III A	Phase III B	Phase V
Manœuvres de locomotives	140	140	108	62	34	18
Locomotives et autorails	147	140	113	105	105	57

### **Emissions de CO**

Les émissions sont estimées au moyen de facteurs d'émission spécifiques tirés du Guidebook EMEP/EEA [1285]. Les facteurs d'émissions évoluent selon les directives appliquées aux motorisations ferroviaires au fil du temps ([1209], [1029], [141]). Les valeurs sont :

CO (g/GJ)	Pre-control	Phase I	Phase II	Phase III A	Phase III B	Phase V
Manœuvres de locomotives	362	362	254	254	254	254
Locomotives et autorails	604	604	423	423	423	423

### **Emissions de NH3**

Les émissions sont estimées au moyen du facteur d'émission spécifique tiré du Guidebook EMEP/EEA [1285]. La valeur est de 7 g/t soit 0,164 g/GJ.

Emissions de particules poussières totales en suspension (TSP), PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>

Les rejets de particules proviennent, d'une part, de la combustion et, d'autre part, de l'abrasion des freins, des roues, des rails et des caténaires dans le cas de trains électriques.

### **Combustion**

Les émissions de particules lors de la combustion sont calculées à partir de données provenant du Guidebook EMEP / EEA [1285]. Les facteurs d'émissions évoluent selon les directives appliquées aux motorisations ferroviaires au fil du temps ([1209], [1029], [141]).

Pour les TSP (qui représentent 1/95 % des émissions de PM<sub>10</sub>), les facteurs d'émissions sont :

TSP (g/GJ)	Pre-control	Phase I	Phase II	Phase III A	Phase III B	Phase V
Manœuvres de locomotives	140	140	52	52	6,5	6,5
Locomotives et autorails	80	80	30	30	3,7	2,2

Pour les PM<sub>10</sub>, les facteurs d'émissions sont :

PM <sub>10</sub> (g/GJ)	Pre-control	Phase I	Phase II	Phase III A	Phase III B	Phase V
Manœuvres de locomotives	133	133	49	49	6,2	6,2
Locomotives et autorails	76	76	28	28	3,5	2,1

Pour les PM<sub>2,5</sub> (qui représentent 95% des émissions de PM<sub>10</sub>), les facteurs d'émissions sont :

PM <sub>2,5</sub> (g/GJ)	Pre-control	Phase I	Phase II	Phase III A	Phase III B	Phase V
Manœuvres de locomotives	126	126	47	47	5,9	5,9
Locomotives et autorails	72	72	27	27	3,4	2,0

Pour la combustion, le guidebook [1285] n'indique pas si ce sont des matières filtrables et/ou condensables.

### Abrasion

Les facteurs d'émissions de particules provenant de l'abrasion couvrent l'abrasion des freins, des roues, des rails et des caténaires dans le cas de trains électriques. Pour la catégorie « usure des roues, des freins et des rails », les facteurs d'émission sont fournis par R. Ballaman [181]. Il n'existe pas de valeur précise pour l'abrasion des freins. D'après R. Ballaman, les transports de marchandises sont les sources d'émissions les plus importantes de PM par abrasion des freins. Une estimation est alors faite pour ce facteur d'émission basée sur des études de l'OFEFP [182] et de IER/Citepa [183].

(g/km parcouru)	TSP
Abrasion freins	15,6
Abrasion rails et roues	6,76

Pour la catégorie « usure des caténaires », un facteur d'émission de 0,16 g/km parcouru est fourni par R. Ballaman [181], il est égal pour les TSP et les PM<sub>10</sub>. Selon une étude de l'OFEFP [182], la part des émissions de poussières liées à l'usure des caténaires représente 1% de l'émission des TSP pour l'activité transport ferroviaire.

La granulométrie est tirée d'une étude franco-allemande [183].

En % TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
Abrasion freins	32	15

Abrasion rails	50	15
Abrasion roues	50	15
Abrasion caténaïres	100	15

Pour l'abrasion, R. Ballaman [181] n'indique pas si ce sont des matièrres filtrables et/ou condensables.

## **Emissions de BC**

### Combustion

Les émissions de BC sont calculées à partir d'une spéciation des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Les ratios appliqués proviennent du guidebook EMEP/EEA sur les inventaires d'émissions de polluants [1285]. Le ratio appliqué est de 65 % de PM<sub>2,5</sub>.

Il convient de préciser que la procédure de mesure réglementée pour la caractérisation de la masse des particules de gaz d'échappement des véhicules exige que les échantillons soient prélevés à une température inférieure à 52 °C. À cette température, les particules contiennent une grande fraction d'espèces condensables. Par conséquent, les facteurs d'émission en masse de particules pour la combustion sont considérés comme comprenant à la fois des matièrres filtrables et condensables.

### Abrasion

Les émissions de BC sont calculées à partir d'une spéciation des émissions de PM<sub>2,5</sub> uniquement pour l'usure des freins. Le ratio appliqué provient du guidebook EMEP/EEA sur les inventaires d'émissions de polluants [1286]. Le ratio appliqué est de 2,6 % de PM<sub>2,5</sub>.

Pour l'abrasion, le guidebook [1286] n'indique pas si ce sont des matièrres filtrables et/ou condensables.

### **Métaux lourds (ML)**

Les émissions de métaux lourds sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible commun à plusieurs sections (cf. Partie générale combustion).

Les émissions de cuivre liées à l'usure des caténaïres utilisent le facteur d'émission de 140 mg/km.train [554].

### **Dioxines et furannes (PCDD-F)**

Les émissions de PCDD-F liées à la combustion sont établies sur la base du facteur d'émissions de poids lourds routiers conventionnels (i.e. sans post-traitement) [1281].

Le facteur d'émission est de 6,162 ng/GJ. Le facteur d'émission pris en compte est issu des facteurs d'émissions de PCDD (25 pg I-Teq/km) et PCDF (38 pg I-Teq/km) des poids lourds conventionnels du transport routier (table 3.77 tirés du Guidebook EMEP/EEA [1281]).

Ce facteur d'émission est ramené en énergie en considérant une consommation unitaire des PL de 240 g/km (table 3.15 tirés du Guidebook EMEP/EEA [1281]) et des PCI des combustibles.

### Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Les émissions de chacun des HAP concernés sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible sur la base du facteur d'émissions de poids lourds routiers conventionnels (i.e. sans post-traitement) [1281].

HAP	BaP	BbF	BkF	IndPy	BghiPe	BaA	BahA	FluorA
Facteur d'émission (mg/GJ)	1,173	1,359	1,182	1,046	2,471	1,116	0,231	15,778

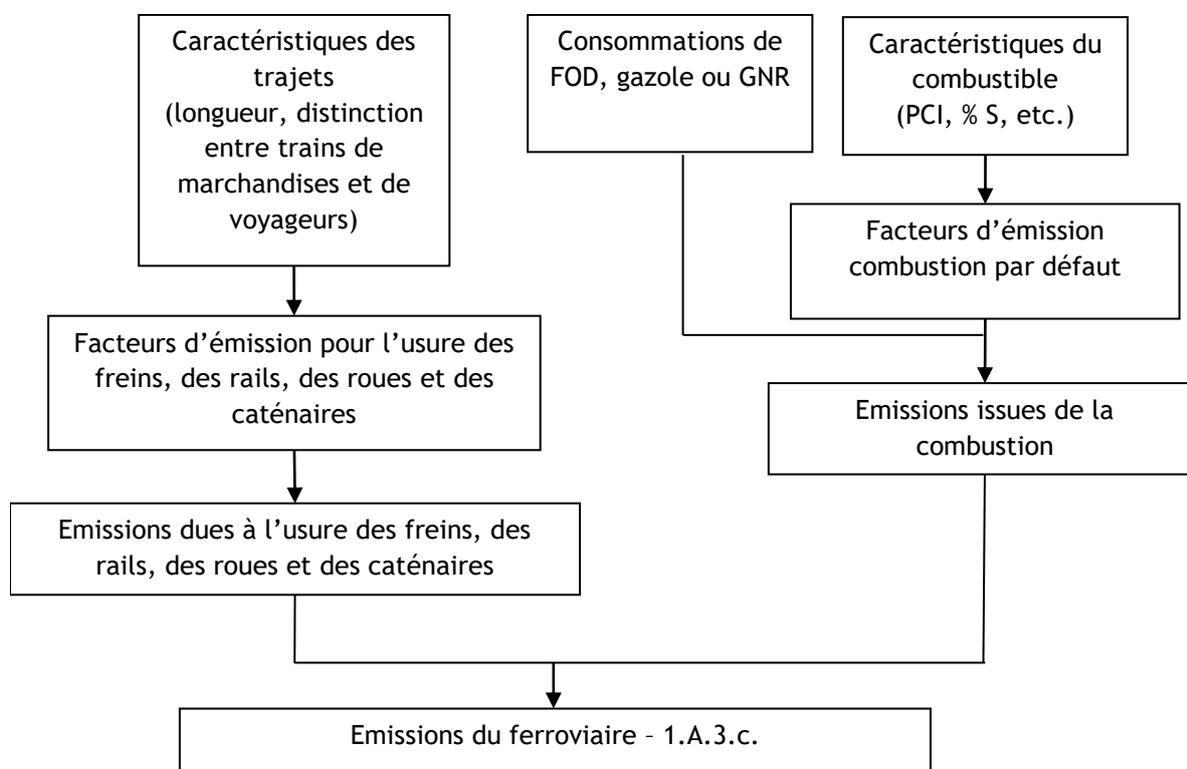
### Polychlorobiphényles (PCB)

Les émissions de PCB liées à la combustion sont établies sur la base du facteur d'émissions de poids lourds routiers conventionnels (i.e. sans post-traitement) [1281].

Le facteur d'émission est de 0,000147 µg/GJ. Le facteur d'émission pris en compte est issu des facteurs d'émissions de PCB (10,9 pg/km) des poids lourds conventionnels du transport routier (table 3.76 tirés du Guidebook EMEP/EEA [1281]).

Ce facteur d'émission est ramené en énergie en considérant une consommation unitaire des PL de 240 g/km (table 3.15 tirés du Guidebook EMEP/EEA [1281]) et des PCI des combustibles.

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
26/01/2024	FTL	14/02/2024	JMA/JPC

## TRANSPORT FLUVIAL ET PLAISANCE

Cette section concerne le transport de marchandises sur les voies navigables intérieures ainsi que l'utilisation de bateaux équipés de moteurs auxiliaires, bateaux à moteurs pour l'usage professionnel, bateaux de plaisances (maritime et fluvial). Seules les émissions liées à la combustion sont considérées.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC /CRF	1.A.3.d (partiellement) et 1.D.1.b (partiellement)
CEE-NU /NFR	1.A.3.d.i, 1.A.3.d.ii (partiellement) et 1.A.5.b (partiellement)
CORINAIR /SNAP 97	08.03.01 à 08.03.04
Citepa /SNAPc	08.03.01 à 08.03.04
CE/directive IED	Hors champ
CE/E-PRTR	Hors champ
CE/directive GIC	Hors champ)
EUROSTAT /NAMEA	01, 05, 06, 07, 08, 17, 19, 20, 23.2-4 ; 23.7-9, 23.5-6, 24.1-3, 24.4, 25, 27, 28, 29, 30, 31-32, 37-39 et 50
NAF 700	61.2Z (ancienne) ; 5030Z, 5040Z, 5222Zp (nouvelle)
NCE	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Top-down	Valeurs nationales par défaut

### Niveau de méthode :

Rang 1.

### Références utilisées :

- [14] CPDP – Pétrole (publication annuelle)
- [31] Ministère des Transports – Rapport annuel de la Commission des Comptes des Transports de la Nation (CCTN)
- [70] Citepa – BOUSCAREN R. – Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et de composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996
- [74] EMEP MSC EAST – Note technique 6/2000
- [105] OFEFP/OFEV — Banque de données off-road

- [141] Directive 2004/26/CE du Parlement européen et du Conseil, du 21 avril 2004, modifiant la directive 97/68/CE sur le rapprochement des législations des Etats membres relatives aux mesures contre les émissions de gaz et de particules polluants provenant des moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers
- [183] Citepa – IER – Study on particulate matter emissions: particle size distribution chemical composition and temporal profiles – Interreg III for ASPA, January 2005
- [341] COOPER D.A. – HCB, PCB and PCDD/F emissions from ships, Atmospheric Environment 39, Page 4908, Avril 2005
- [355] PNUE – Outil spécialisé (Toolkit) pour l'identification et la quantification des rejets de dioxine et furanes, Février 2005
- [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
- [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
- [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
- [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
- [1141] MTE/CGDD/SDeS : rapport annuel du bilan annuel des transports
- [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
- [1280] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.d Navigation -shipping
- [1281] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.b.i-iv Road transport

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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. OMINIA\_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 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 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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Les émissions sont calculées à partir des consommations de carburants et de facteurs d'émissions uniformes par type de carburant.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> 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.

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Pour les bateaux de plaisance, les émissions de CH<sub>4</sub> sont estimées sur la base d'un facteur d'émission de 58,0 g/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/GJ [669].

**Emissions de N<sub>2</sub>O**

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

**Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

**Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :****Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions sont déterminées au moyen de facteurs d'émission déterminés à partir des teneurs en soufre moyennes et des pouvoirs calorifiques moyens des combustibles. Ces valeurs évoluent en fonction du temps, cf. base de données OMINEA.

**Emissions de NO<sub>x</sub>, CO, COVNM et poussières totales en suspension (TSP)**

Pour les émissions de NO<sub>x</sub>, COVNM et poussières totales en suspension (TSP) les facteurs d'émission évoluent en fonction du temps en raison de l'évolution du parc et des normes d'émissions applicables. Les facteurs d'émission moyens pour des engins à moteur diesel et à moteur essence (2 et 4 temps) sont donc calculés par année à partir des références EMEP [105,1280] et des réglementations évolutives [1209, 141, 522, 376, 1029], cf. base de données OMINEA.

Pour le calcul des émissions liées au transport fluvial, il pourrait être pertinent d'appliquer des facteurs d'émissions différents à certaines voies où la taille des bateaux est plus importante (Seine aval et Rhin). Toutefois, compte tenu du peu de données disponibles et de l'impact assez faible de cet affinement à l'échelon national, cette distinction n'est pas introduite.

**Emissions de NH<sub>3</sub>**

Pour le transport fluvial, les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables d'autant que les engins ne sont pas équipés actuellement de dispositifs d'épuration des NO<sub>x</sub> dont la nature du procédé serait susceptible de rejeter cette substance.

Pour les bateaux de plaisance, les émissions sont estimées au moyen du facteur d'émission spécifique tiré du Guidebook EMEP/EEA [1280]. La valeur est de 0,167 g/GJ pour le gazole et de 0,102 g/GJ pour l'essence.

**Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Les facteurs d'émission PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> pour le gazole et le FOD d'une part et pour l'essence d'autre part sont estimés à partir d'une étude franco-allemande [183]. La granulométrie utilisée est donc la suivante :

tranche granulométrique	% répartition des PM totales		
	gazole	essence	FOD
PM <sub>10</sub>	95	99	95
PM <sub>2,5</sub>	90	84	90
PM <sub>1,0</sub>	81	80	-

Pour les émissions de poussières (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>) les références bibliographiques utilisés n'indiquent pas s'il s'agit de matières filtrables et/ou condensables.

Les émissions de BC de la combustion sont calculées à partir d'une spéciation des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Les ratios appliqués proviennent du guidebook EMEP/EEA [1280]. Les ratios appliqués sont de 55 % de PM<sub>2,5</sub> pour le gazole et de 5 % de PM<sub>2,5</sub> pour l'essence.

### **Métaux lourds (ML)**

Les émissions de métaux lourds sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années sauf pour le plomb des bateaux de plaisance à essence avant l'année 2001.

Les facteurs d'émissions pour les métaux lourds sont les mêmes que ceux issues de la section générale OMINEA\_1A\_fuel emission factor.

### **Dioxines et furanes (PCDD-F)**

Pour les bateaux de plaisance, des facteurs d'émission de 2,38 ng/GJ pour les moteurs diesel [355] et de 2,27 ng/GJ pour les moteurs à essence sont appliqués [70].

Pour le transport fluvial, le facteur d'émission utilisé est de 2,92 ng/GJ pour les moteurs diesel [341].

### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Les émissions de chacun des HAP concernés sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible [1281], supposés constants au cours des années et communs aux bateaux de plaisance et de transport fluvial.

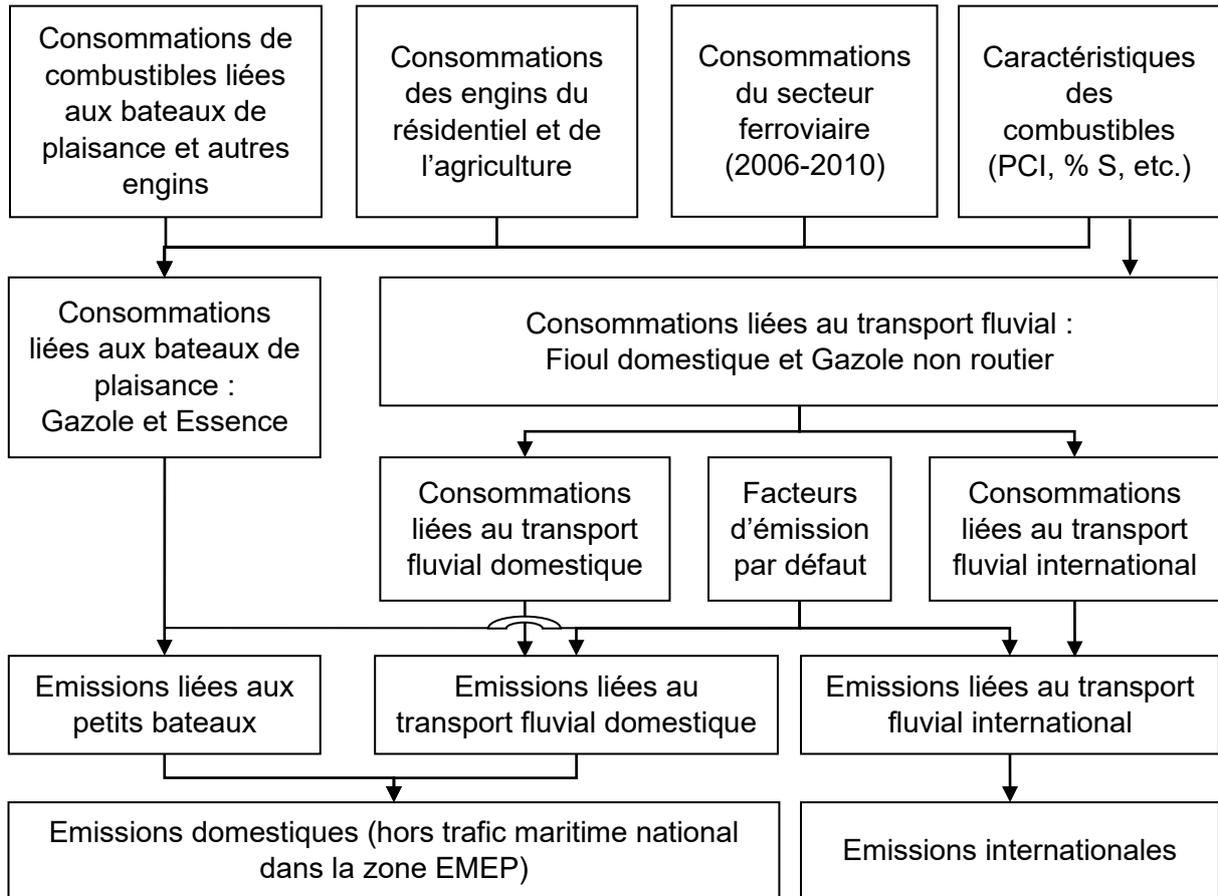
### **Polychlorobiphényles (PCB)**

Les émissions de PCB liées à la combustion sont calculées sur la base d'un facteur d'émission de 8,76 µg/GJ [341].

### **Hexachlorobenzène (HCB)**

Le facteur d'émission de HCB pour les moteurs diesel est considéré comme constant à 1,95 µg/GJ [341]. Par contre, ceux des moteurs à essence varient en fonction de la teneur moyenne en plomb des carburants [74], cf. base de données OMINEA.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
19/02/2024	AM	19/02/2024	JMA/JPC

## TRANSPORT MARITIME

Cette section ne porte que sur les rejets des navires et plus particulièrement ceux utilisés pour le transport maritime des biens et des personnes. Les bateaux de plaisance ou professionnels, les activités connexes des ports, les activités militaires et la pêche sont exclus. Seules les émissions liées à la combustion sont considérées.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC /CRF	1.A.3.d (partiellement) et 1.D.1.b (partiellement)
CEE-NU /NFR	1.A.3.d.ii (partiellement)
SNAPc (extension Citepa)	08.04.02 et 08.04.04
CE/directive IED	Hors champ
CE/E-PRTR	Hors champ
CE/directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Consommations globales de combustibles	Spécifiques aux divers carburants utilisés

### Niveau de méthode :

#### CO<sub>2</sub> :

Méthode de rang 2 (avec des facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> nationaux spécifiques).

#### CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O :

Méthode de rang 1.

#### Polluants :

La méthode de rang 2 est appliquée pour l'estimation des émissions de NO<sub>x</sub>, de SO<sub>x</sub>, BC et de TSP.

Pour les autres espèces chimiques, une méthode de rang 1 est appliquée. 1281 Références utilisées :

- [14] CPDP – Pétrole (publication annuelle)
- [133] Citepa — DANG Q.C. — Tentative d'estimation des émissions de polluants atmosphériques dues au trafic maritime en Méditerranée Occidentale, Janvier 1993
- [167] MINEFI / DIREM (ex-DIMAH) – données internes non publiées annuelles sur les bilans énergétiques de l'Outre-mer y compris les PTOM

- [341] COOPER D.A. – HCB, PCB and PCDD/F emissions from ships, *Atmospheric Environment* 39, Page 4908, Avril 2005
- [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] L'LOYDS – Base de données Seaweb, flotte et caractéristiques techniques des navires, 2007
- [669] GIEC – Guidelines 2006, Volume 2, Chapitre 3.
- [1220] Defra UK Ship Emissions Inventory Final Report, 2010.
- [1221] Fourth IMO GHG Study 2020 Full Report
- [1222] Z. Klimont *et al.*, "Global anthropogenic emissions of particulate matter including black carbon," *Atmos Chem Phys*, vol. 17, no. 14, pp. 8681–8723, Jul. 2017, doi: 10.5194/acp-17-8681-2017.
- [1278] Cylinder lubrication of two-stroke crosshead marine diesel engines (wartsila.com)
- [1279] Kaminski, W. Marine Slow-Speed Engines' Cylinder Oil Lubrication Feed Rate Optimization in Real Operational Conditions. *Energies* 2022, 15, 8378. [https:// doi.org/10.3390/en15228378](https://doi.org/10.3390/en15228378)
- [1280] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.d Navigation -shipping
- [1281] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.b.i-iv Road transport
- [1282] IPCC Guidelines Volume 3, Chapter 5, Table 5.2 : Default oxidation fractions for lubricating oils, grease and lubricants in general

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

L'utilisation de combustibles fossiles dans les équipements de propulsion des navires engendre comme tout phénomène de combustion des émissions dans l'atmosphère. Les éventuelles émissions liées à d'autres phénomènes (fuites diverses au remplissage et au chargement de produits solides, liquides ou gazeux, des systèmes frigorifiques, etc.) ne sont pas prises en compte faute d'informations.

En application des règles convenues dans le cadre des conventions internationales mais également de la particularité de la répartition du territoire français hors Europe, il est nécessaire de décomposer le trafic maritime en sous-ensembles relatifs :

- Au trafic domestique, liaisons entre deux ports d'un même pays ;
- Au trafic international, liaisons entre deux ports dont l'un est situé dans un pays étranger.

Le pavillon, la nationalité de l'armateur, etc. ne sont pas des critères déterminants du pays auquel les émissions sont affectées.

L'activité de transport maritime est caractérisée par la consommation de combustibles. Bien que cette dernière diffère selon le type de navire, sa jauge brute et les diverses phases de navigation (croisière, approche/manœuvre, stationnement dans les ports), les inventaires nationaux s'appuient actuellement sur la consommation totale de combustibles. Une distinction plus fine selon les paramètres cités ci-dessus est certainement plus pertinente vis-à-vis des émissions d'une zone particulière telle qu'un port, un estuaire, une liaison, etc.

Le CPDP [14] communique chaque année les consommations, pour la métropole, de diesel marine léger (DML) et de fioul lourd (FOL) 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 caboteurs 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 Départements-Régions d’Outre-mer (DROM), les parts relatives de consommations de combustibles du trafic domestique vis-à-vis des consommations globales sont établies selon le bilan d’énergie réalisé au Citepa et après consultations des observatoires d’énergie locaux. Ces valeurs sont les suivantes :

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

En ce qui concerne l’année 2021 et 2022, une nouvelle activité de soutage à destination des pavillons français a débuté en Guadeloupe. Pour l’instant, étant donné que le Citepa ne dispose pas d’indication sur la destination de ce soutage (trafic domestique ou international), seuls respectivement 13 et 34 % de la consommation totale de FOL a été attribuée au trafic domestique en 2021 et 2022 afin de maintenir constante la consommation du trafic domestique par rapport à 2020 en attendant d’obtenir plus d’informations sur cette activité.

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

Nouvelle-Calédonie	100%	Saint-Barthélemy	100%	Wallis-et-Futuna	50%
Polynésie française (FOL)	0%	Polynésie française (FOD)	100%	Saint-Pierre-et-Miquelon	50%

*Procédure bottom-up pour l’année de référence 2005 de discernement des ventes relatives au trafic maritime domestique et trafic maritime international*

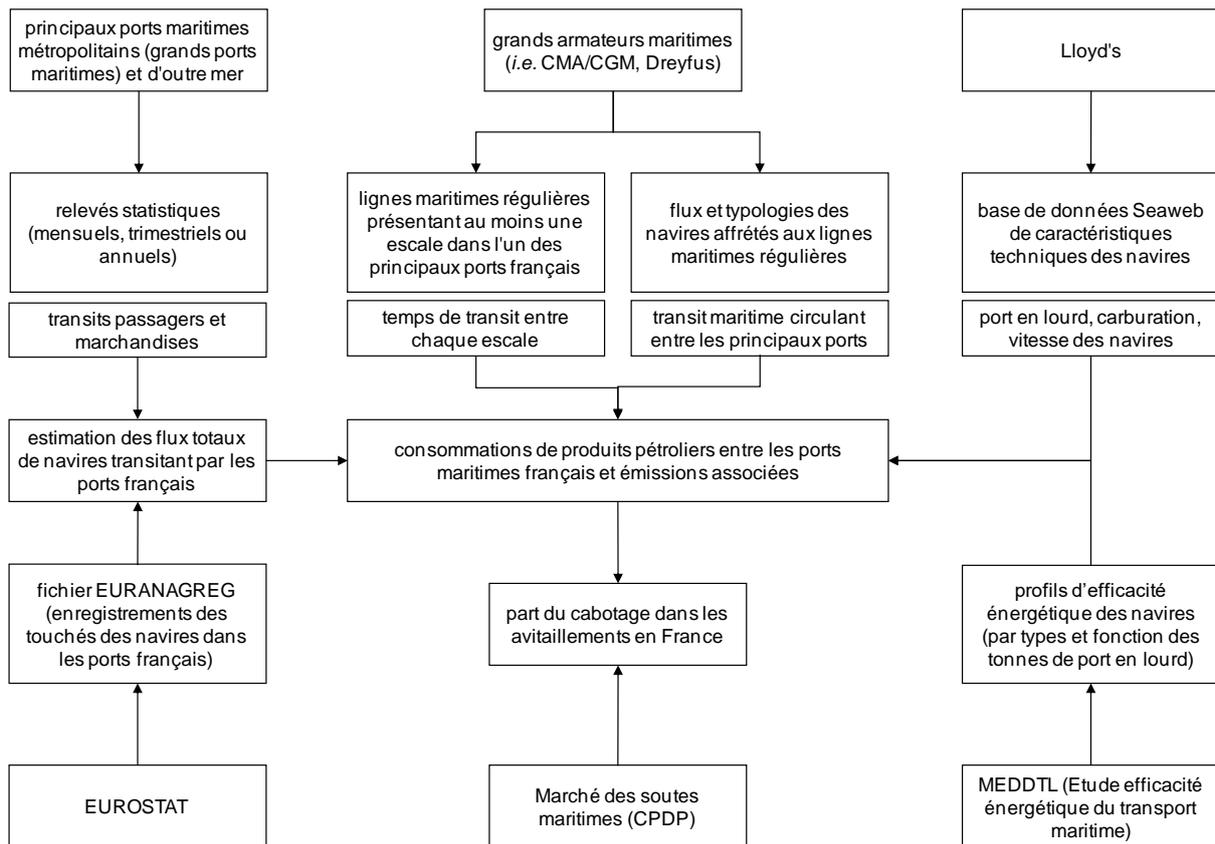
En principe deux composantes contribuent aux émissions de la navigation maritime domestique :

- 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.

Les données de consommations d'huile dans le secteur maritime sont extraites du bilan annuel du CPDP [14]. L'huile utilisée dans les moteurs a pour rôle de lubrifier et refroidir les différents organes du moteur et de la transmission. Cependant, tout (moteurs 2-temps) ou partie (moteurs 4-temps) de cette huile pénètre dans la chambre de combustion et brûle, générant ainsi des émissions.

La part de motorisations fonctionnant selon un cycle deux ou quatre temps est estimée à partir d'un croisement entre :

- Le pourcentage de puissance installée des moteurs principaux par type de moteur, catégorie de navire et carburant [1280] Table 3-10 ;
- De la répartition de la flotte mondiale par type de navire [1221] Table 7 ;

Les moteurs de vitesse lente (<300 tr/min) sont considérés comme 2-temps et les moteurs de vitesse moyenne (vitesse comprise entre 300 et 900 tr/min) et rapide (>900 tr/min) comme 4-temps. Ces hypothèses permettent d'extraire les ratios moyens de puissance entre les moteurs 2-temps et 4-temps par type de carburant (cf. tableau ci-dessous). Ces ratios n'évoluent pour le moment pas en fonction de l'année.

	DML	FOL
2-temps	37 %	86 %
4-temps	63 %	14 %

#### Moteurs 2-temps :

D'après [1278], la consommation d'huile est en moyenne estimée à 1,2 g/kWh, et d'après [1280], la consommation de carburant à 190 g/kWh, soit un ratio de 0,63 % gramme d'huile brûlée par gramme de carburant.

Ainsi, la consommation d'huile 2-temps est estimée selon l'équation ci-dessous :

$$C_{H_{2tps}}(i) = C_{carb_i}(i) \times Ratio_{2tps}(i) \times \frac{SFOC_H}{SFOC_c}$$

Avec :

$C_{H_{2tps}}$  : La consommation d'huile associée aux moteurs deux temps

$i$  : le type de carburant (FOL ou DML)

$Ratio_{2tps}$  : La part de motorisations 2-temps (37 % pour le DML et 86 % pour le FOL)

$\frac{SFOC_H}{SFOC_c}$  : La quantité d'huile consommée par gramme de carburant associée aux motorisation 2-temps soit 0,63 %.

Les émissions relatives aux huiles des moteurs 2-temps sont rapportés dans le secteur du transport maritime (1.A.3.d),

#### Moteurs 4-temps :

Afin de rester cohérent avec les ventes de lubrifiant du maritime, le calcul bottom-up de la consommation d'huile des moteurs est réalisé seulement pour les motorisations 2-temps. Le solde entre les ventes et la consommation d'huile 2-temps est attribué à la consommation d'huile 4-temps selon l'hypothèse que 20 % de l'huile du carter brûle dans la chambre de combustion du moteur. Cette hypothèse est conforme au lignes directrices 2006 [1282].

Les émissions relatives aux huiles des moteurs 4-temps sont rapportés dans le secteur non énergétique (NFR-2.G/CRF-2.D.1).

**Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :**

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

**Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :****Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les facteurs d'émission retenus sont les valeurs spécifiques françaises par défaut, cf. section générale énergie.

**Emissions de CH<sub>4</sub>**

Le facteur d'émission dépend du type d'équipement et de sa charge elle-même variable selon les phases. L'approche utilisée s'appuie sur des valeurs moyennes proposées par les directives GIEC [669] appliquées uniformément à tous les navires et toutes les années à raison de 7,0 g/GJ pour le diesel marin léger et pour le fioul lourd.

Pour estimer les émissions de CH<sub>4</sub> issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions de CH<sub>4</sub> du FOL ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

**Emissions de N<sub>2</sub>O**

Les émissions de N<sub>2</sub>O sont estimées sur la base des facteurs d'émission issus des directives GIEC [669], à savoir de 2 g/GJ pour le diesel marin léger et pour le fioul lourd.

Pour estimer les émissions de N<sub>2</sub>O issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions de N<sub>2</sub>O du FOL ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

**Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

**Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :****Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les teneurs en soufre des différents combustibles évoluent non linéairement au cours du temps et sont très différentes d'un combustible à l'autre, cf. base de données OMINEA.

**Emissions de NO<sub>x</sub>**

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 dans le Guidebook EMEP [1280]. Pour le fioul lourd, le facteur d'émission est 1967 g/GJ pour le fioul lourd et pour le diesel marin léger 1929 g/GJ pour les années pré-2000 (année d'application de la première réglementation sur les NO<sub>x</sub>, i.e. Tier I). En s'appuyant sur l'étude [1220], l'hypothèse d'un renouvellement annuel de la flotte de navires de 4 % par d'autres dont la réduction unitaire annuelle des émissions NO<sub>x</sub> s'élève à 17 % est considérée pour les années post-2000. Ainsi, le niveau de réduction annuel des émissions de NO<sub>x</sub> du secteur d'élève à 0,68%. Le facteur d'émission de référence utilisé dans les calculs

correspond à celui de l'année 2019 issu du guide méthodologique EMEP/EEA [1280] et s'élève à 1727 pour le FOL et 1695 g/GJ pour le DML.

Pour estimer les émissions de NO<sub>x</sub> issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions de NO<sub>x</sub> du FOL ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

### ***Emissions de COVNM***

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 dans le Guidebook EMEP [1280], pour le fioul lourd le facteur d'émission est 42 g/GJ et pour le diesel marin léger 41 g/GJ.

Pour estimer les émissions de COVNM issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions de COVNM du FOL ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

### ***Emissions de CO***

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 dans le Guidebook EMEP [1280], pour le fioul lourd le facteur d'émission est 92 g/GJ et pour le diesel marin léger 90 g/GJ.

Pour estimer les émissions de CO issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions de CO du FOL ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

### ***Emissions de NH<sub>3</sub>***

Fautes d'informations précises pour les navires, les émissions de NH<sub>3</sub> sont calculées sur la base du facteur d'émission des bateaux de plaisance, à savoir 0,18 et 0,164 g/GJ pour le fioul lourd et le diesel marine léger, respectivement. A ce jour très peu de navires sont équipés de dispositifs d'épuration des NO<sub>x</sub> (SCR) dont la nature du dispositif peu rejeter de l'ammoniac. Cependant, la mise en place de zones d'émissions de NO<sub>x</sub> contrôlées, NECA, autour de l'Europe voire de la France devrait imposer aux navires de s'équiper en SCR ce qui pourrait faire l'objet d'une mise à jour du facteur d'émission.

Pour estimer les émissions de NH<sub>3</sub> issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions de NH<sub>3</sub> du FOL ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

### ***Emissions de poussières totales en suspension (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>)***

Le facteur d'émission dépend du type d'équipement, de sa charge elle-même variable selon les phases et du combustible. Les valeurs utilisées sont des valeurs moyennes issues du rapport d'étude sur les GES de l'OMI [1221]. Elles sont dépendantes du taux de soufre présent dans le carburant comme l'illustrent les formules ci-dessous.

$$FOL : EF_{e,PM_{10}} \left( \frac{g}{kWh} \right) = 1,35 + SFC * 7 * 0,02247 * (S - 0,0246) \quad (1)$$

$$DML : EF_{e,PM_{10}} \left( \frac{g}{kWh} \right) = 0,23 + SFC * 7 * 0,02247 * (S - 0,0024) \quad (2)$$

Avec :

- $SFC$  : Consommation spécifique de carburant en (g/kWh)
- $S$  : Le taux de soufre

Les valeurs des consommations spécifiques ( $SFC_i$ ) utilisées pour obtenir des FE en g/GJ correspondent à la moyenne pondérée des  $SFC_i$  des moteurs à moyenne (medium speed diesel) et faible vitesses (slow speed diesel) issues du guide méthodologique EMEP/EEA 2023 [1280], c'est-à-dire 198 et 196 g/kWh pour le FOL et DML, respectivement.

Selon le guide méthodologique EMEP/EEA 2023 [1280], le total des poussières en suspension (TSP) est considéré comme étant composé à 100 % de particules ayant une taille inférieure à 10 micromètres et 85 % de particules ayant une taille inférieure à 2,5 micromètres.

Les  $PM_{1,0}$  se distribuent par rapport aux TSP à raison de 92% pour le diesel et le FOL. Cette hypothèse est issue du transport routier [1281]

Pour estimer les émissions de TSP,  $PM_{10}$  et  $PM_{2,5}$  issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions du FOL ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les facteurs d'émission de carbone suie sont calculés en deux temps, de la façon suivante : l'élaboration de facteurs d'émission de référence de respectivement 2,26 et 1,13 g/GJ pour les FOL et DML est faite à partir du guide méthodologique EMEP/EEA 2023 [1280]. Ces derniers sont associés à des taux de soufre de 1,42 pour le FOL et 0,09 % pour le DML. Dans un second temps, le facteur d'émission de BC est corrigé en fonction de la teneur en soufre du carburant en conservant la tendance observée dans [1222].

Pour estimer les émissions de BC issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions du FOL ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

**Métaux lourds (ML)**

Pour la combustion, les facteurs d'émission des métaux lourds sont issus de la section générale *OMINEA\_1A\_fuel emission* factor pour le DML. Pour l'huile, les facteurs d'émissions sont identiques à ceux du transport routier (cf. 1.A.3.b.). En revanche, pour le fioul lourd, les facteurs d'émissions proviennent de [1280] et sont les suivants :

Métal lourd	FE (mg/GJ)	
	DML/FOL	Huile
As	17,00	0.0
Cd	0,50	5.0
Cr	18,00	4.5
Cu	31,25	17.5
Hg	0,50	0.0
Ni	800	5.0
Pb	4,50	15.0
Se	5,25	0.0
Zn	30,00	1 000

**Dioxines et furannes (PCDD-F)**

Les émissions sont déterminées à partir des facteurs d'émission spécifiques aux combustibles [341] : 11,7 ng/GJ pour le Fioul lourd et 2,92 ng/GJ pour le diesel marin léger.

Pour estimer les émissions de PCDD-F issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions du FOL ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

**Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Les émissions de chacun des HAP concernés sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années. Du fait que les facteurs d'émission des HAP ne sont pas estimés pour le maritime dans le guide EMEP/EEA [1280], ceux du transport routier (cf. 1.A.3.b.) sont utilisés à défaut [113].

Pour estimer les émissions de HAP issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions du FOL ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

**Polychlorobiphényles (PCB)**

Les émissions sont déterminées à partir des facteurs d'émission spécifiques aux combustibles [341] : 14 µg/GJ pour le Fioul lourd et 8,76 µg/GJ pour le diesel marin léger.

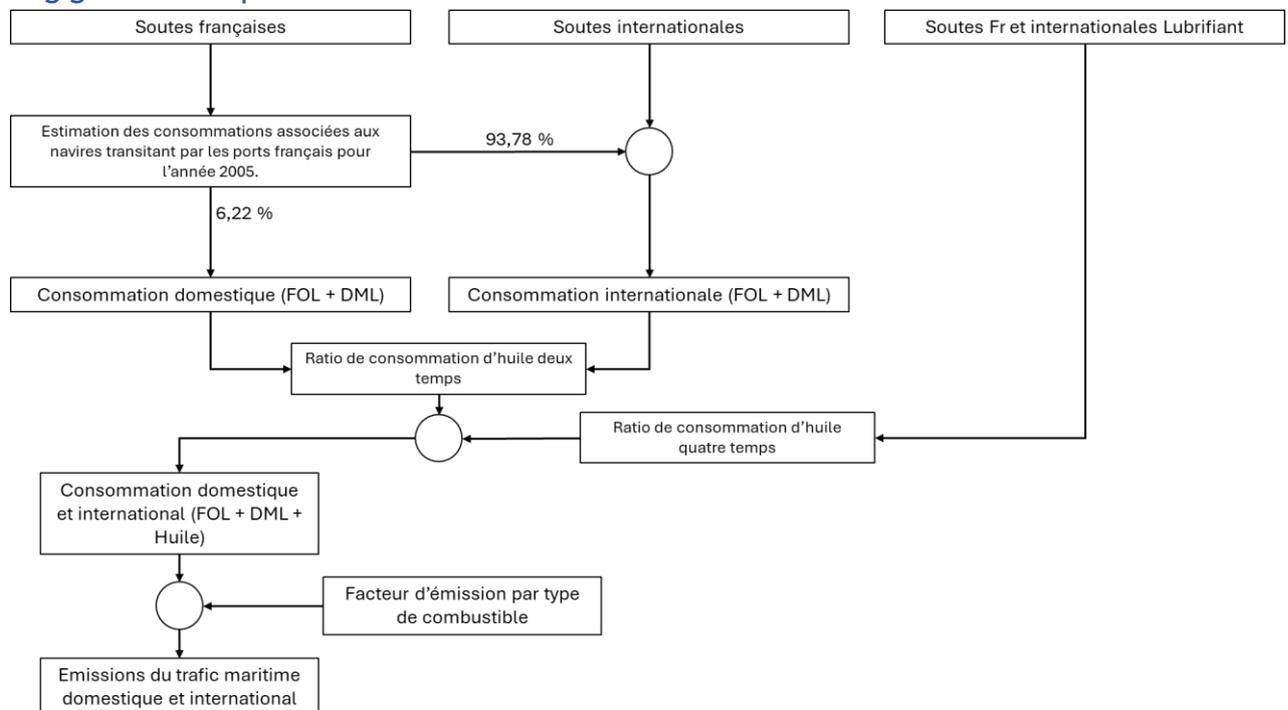
Pour estimer les émissions de PCB issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions du FOL ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

### Hexachlorobenzène (HCB)

Les émissions sont déterminées à partir des facteurs d'émission spécifiques aux combustibles [341] : 1,95 µg/GJ pour le Fioul lourd et le diesel marin léger.

Pour estimer les émissions de HCB issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions du FOL ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
12/01/2022	BM	31/01/2022	JV

## STATIONS DE COMPRESSION DU RESEAU DE TRANSPORT ET DE DISTRIBUTION DU GAZ

Cette section concerne la combustion de gaz naturel par les stations de compression du réseau de transport et de distribution du gaz naturel.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.3.e
CEE-NU / NFR	1.A.3.e.i
SNAPc (extension CITEPA)	01.05.06
CE / directive IED	1.1 (pour la fraction > 50 MW - mais en fait puissances inférieures)
CE / E-PRTR	1c (pour la fraction > 50 MW - mais en fait puissances inférieures)
CE / directive GIC	(01.05.06 pour les TAG à partir de l'inventaire relatif à 2004)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Consommation de gaz naturel prise en bottom-up par entreprise ou par installation	Spécifiques ou valeurs moyennes nationales selon les substances

### Niveau de méthode :

Rang 2

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[29] Gaz de France - Données internes

[1186] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.4 Small combustion, Table 3-28 p59 et Table 3-30 p61

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Introduction

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.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> 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].

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

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.

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

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.

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions de SO<sub>2</sub> des stations de compression sont très faibles du fait de la consommation du gaz naturel. Les émissions sont issues des données des exploitants à partir de 2007. Pour la période 1990-2007, un facteur d'émission moyen, issu des déclarations des exploitants sur la période 2007-2011 [19], est appliqué.

#### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Les émissions de NO<sub>x</sub> sont déterminées, soit à partir de mesures à partir de 1998, soit au moyen de facteurs d'émission spécifiques aux divers équipements qui, par suite des améliorations apportées au cours du temps, décroissent d'environ un facteur 10 entre 1990 et 2010. Depuis 2005, les déclarations annuelles [19] sont utilisées.

#### **Emissions de COVNM**

Les émissions de COVNM sont estimées au moyen de facteurs d'émission spécifiques aux motocompresseurs et turbocompresseurs tirés du Guidebook EMEP/EEA [1186] et de l'évolution des consommations de ces équipements au cours du temps.

#### **Emissions de CO**

Les émissions de CO sont en général faibles et estimées au moyen des déclarations annuelles (depuis 2007) [19]. Une moyenne du facteur d'émission entre 2007 et 2011 est utilisée pour calculer les émissions entre 1990 et 2006.

### ***Emissions de NH<sub>3</sub>***

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables d'autant qu'il n'y a actuellement pas d'installation munie de dispositif d'épuration des émissions de NO<sub>x</sub> dont la nature du procédé serait susceptible d'utiliser une solution d'ammoniac, et donc de rejeter partiellement cette substance suite à d'éventuelles fuites.

### ***Emissions de poussières totales en suspension (TSP)***

Les données issues des déclarations des exploitants ne sont pas assez exhaustives. Les émissions sont estimées au moyen de facteurs d'émission spécifiques aux motocompresseurs et turbocompresseurs tirés du Guidebook EMEP/EEA [1186] et de l'évolution des consommations dans ces équipements au cours du temps.

### ***Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>***

Les données issues des déclarations des exploitants ne sont pas assez exhaustives. Pour les PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>, les émissions sont estimées au moyen de facteurs d'émission spécifiques aux motocompresseurs et turbocompresseurs tirés du Guidebook EMEP/EEA [1186] et de l'évolution des consommations de ces équipements au cours du temps. Les émissions de PM<sub>1,0</sub> sont supposées être égales aux émissions de PM<sub>2,5</sub>.

### ***Emissions de carbone suie / black carbon (BC)***

La part du BC dans les émissions de PM<sub>2,5</sub> est de 2,5% selon le guide EMEP/EEA [1186].

### ***Métaux lourds (ML)***

Les émissions des 9 métaux lourds de l'inventaire (Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Mercure, Nickel, Plomb, Sélénium, Zinc) sont calculées sur la base des consommations de gaz naturel et des facteurs d'émission présentés en section « 1A\_fuel emission factors ».

### ***Dioxines et furannes (PCDD-F)***

Les données issues des déclarations des exploitants ne sont pas assez exhaustives. Les émissions sont estimées au moyen de facteurs d'émission spécifiques aux motocompresseurs et turbocompresseurs tirés du Guidebook EMEP/EEA [1186] et de l'évolution des consommations dans ces équipements au cours du temps.

### ***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Les émissions de chacun des HAP concernés (FluorA, BaA, BahA, BaP, BbF, BghiPe, BkF, IndPy) sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à la combustion du gaz naturel, supposés constants au cours des années et communs à plusieurs sections (cf. section « 1A\_fuel emission factors »).

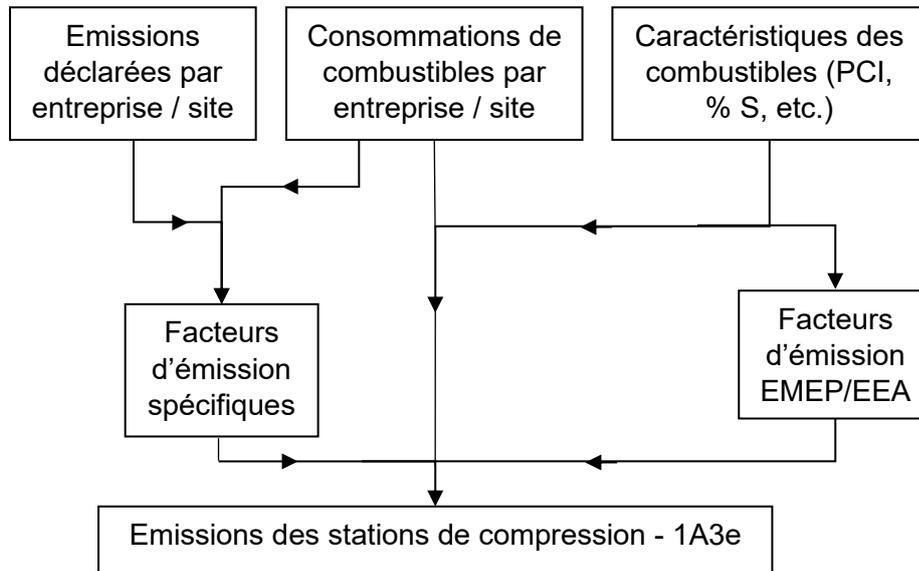
### ***Polychlorobiphényles (PCB)***

Il n'y a pas d'émission attendue de cette substance lors de la combustion du gaz naturel.

### ***Hexachlorobenzène (HCB)***

Il n'y a pas d'émission attendue de cette substance lors de la combustion du gaz naturel.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
04/02/2020	GB	17/02/2020	JV/JPC

## AUTRES TRANSPORTS

Cette section traite des émissions des machines mobiles et autres moyens de transport hors transport et distribution de gaz naturel (1A3ei). 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 (1A4a), résidentiel (1A4b), agricole et forestier (1A4c), industriel (1A2) ou bien encore militaire (1A5).

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.3.e.ii
CEE-NU / NFR	1.A.3.e.ii
SNAPc (extension CITEPA)	Non spécifié
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Inclus ailleurs (IE) : 1A4a	-

### Niveau de méthode :

-

### Références utilisées :

-

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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 émissions. Ces activités de transport et manutention sur les plateformes aéroportuaires et 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 1.A.3.e.ii/Autres transports sont inclus ailleurs, dans le secteur commercial/tertiaire (1A4a).

## Autres secteurs de la combustion

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
18/01/2024	BC	13/02/2024	JV

## SECTEURS TERTIAIRE / INSTITUTIONNEL / COMMERCIAL

Cette section concerne les installations de combustion du secteur tertiaire, institutionnel et commercial.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.4.a
CEE-NU / NFR	1.A.4.a
SNAPc (extension CITEPA)	02.01.01 à 02.01.05
CE / directive IED	1.1 (champ limité aux installations > 50 MW)
CE / E-PRTR	1c (champ limité aux installations > 50 MW)
CE / directive GIC	02.01.01, 02.01.02, (+02.01.04 à partir de l'inventaire relatif à 2004)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up limité aux installations > 50 MW qui sont considérées individuellement et bilan national de l'énergie	Valeurs spécifiques à chaque installation considérée individuellement pour le SO <sub>2</sub> , les NO <sub>x</sub> , les particules et le CO <sub>2</sub> pour les installations couvertes par le SEQE. Valeurs nationales ou valeur par défaut pour les autres substances et les autres installations

### Niveau de méthode :

Rang 2/3 pour les installations > 50 MW

Rang 1/2 pour les installations < 50 MW

### Références utilisées :

- [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
- [14] CPDP - Pétrole (publication annuelle)
- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [39] Citepa - Inventaire des grandes installations de combustion en application des directives 88/609 et 2001/80/CE
- [42] OFEFP - Coefficients d'émission des sources stationnaires, éditions 1995 et 2000
- [63] MINEFI - DIDEME - Données internes non publiées
- [67] Citepa - N. ALLEMAND - Estimation des émissions de polluants liées à la combustion du bois en France - mars 2003

- [69] INSTITUT D'EMISSION D'OUTRE-MER (IEOM) - Rapport annuel
- [183] Citepa - IER - Study on particulate matter emissions: particle size distribution chemical composition and temporal profiles - Interreg III for ASPA, January 2005
- [638] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - section I.8 - table 1- 4 (CO<sub>2</sub>) ; Volume 2 - tables 2.2, 2.3, 2.4 et 2.5 (CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O)
- [936] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.1 Energy industries, tables 3-2 / 3-4 / 3-5, FE BC
- [1004] Note de l'ADEME - Proposition d'évolution des facteurs d'émission 1 à 20MW. 18/03/2019
- [1112] Panorama du gaz renouvelable - Publication annuelle - GRDF, GRTgaz, Syndicat des énergies renouvelables, SPEGNN, Teréga
- [1211] Valorisation et partage de la connaissance du parc des installations bois-énergie, rapports annuels, CIBE
- [1212] Cortea Acibioqa - Amélioration des connaissances en matière d'impact des chaufferies biomasse sur la qualité de l'air, ADEME
- [1273] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.4 Small combustion, tables 3-7 / 3-8 / 3-9 / 3-45 pour FE BC

#### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Cette section concerne les activités commerciales, institutionnelles et tertiaires consommatrices d'énergie. Les usages énergétiques de ces activités reposent pour une part importante sur la production de chaleur (chauffage) pour différents types de bâtiments (bureaux, commerces, hôpitaux, universités, *datacenters*, bâtiments collectifs d'habitation, etc.).

#### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Les installations du secteur tertiaire sont distinguées en deux catégories :

- Installations de puissance supérieure à 50 MW : ces installations sont recensées individuellement chaque année dans le cadre de l'inventaire GIC (Grandes Installations de Combustion) [39] et leurs consommations sont donc connues de façon exhaustive ;
- Installations de puissance inférieure à 50 MW : les consommations de ces installations sont tirées du bilan national de l'énergie [1]. Une distinction supplémentaire est effectuée pour distinguer les équipements inférieurs à 1 MW pour la biomasse uniquement (déterminés à partir des données annuelles du CIBE [1211]).

Les 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.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> 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 aux quotas est réalisée.

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Les émissions de CH<sub>4</sub> sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Les émissions de N<sub>2</sub>O sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Pour les quelques installations de puissance supérieure à 50 MW, les émissions de SO<sub>2</sub> sont déterminées à partir des déclarations annuelles des rejets [19]. En général, ces émissions sont estimées par les exploitants par mesure directe et/ou à partir du bilan soufre établi sur la base des consommations de combustibles et de leur teneur en soufre recensées chaque année.

Pour les autres installations, les émissions de SO<sub>2</sub> sont déterminées à partir de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie).

#### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Pour les quelques installations de puissance supérieure à 50 MW, les émissions de NO<sub>x</sub> sont déterminées à partir des déclarations annuelles des rejets [19]. En général, ces émissions sont estimées par les exploitants par mesure directe et/ou à partir de facteurs d'émission.

Pour les autres installations, les émissions de NO<sub>x</sub> sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

Une distinction spécifique est réalisée pour les facteurs d'émission de NO<sub>x</sub> des installations inférieures à 20 MW et pour celles inférieures à 1 MW fonctionnant à la biomasse [1212].

### **Emissions de COVNM**

Les émissions de COVNM sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

Une distinction spécifique est réalisée pour les facteurs d'émission de COVNM des installations inférieures à 20 MW faisant partie du Fonds Chaleur de l'ADEME fonctionnant à la biomasse [1004] ainsi que pour les FE des installations inférieures à 1 MW [1212].

### **Emissions de CO**

Les émissions de CO sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie). Une distinction spécifique est réalisée pour les facteurs d'émission de COVNM pour les installations inférieures à 1 MW fonctionnant à la biomasse [1212].

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission par défaut par combustible (cf. section générale énergie).

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Pour les quelques installations de puissance supérieure à 50 MW, les émissions de TSP sont déterminées à partir des déclarations annuelles des rejets [19]. En général, ces émissions sont estimées par les exploitants par mesure directe et/ou à partir de facteurs d'émission.

Pour les autres installations, les émissions de TSP sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible présentés dans la section générale énergie sauf pour certains combustibles pour lesquels les valeurs utilisées proviennent de la référence [42].

Une distinction spécifique est réalisée pour les facteurs d'émission de TSP des installations inférieures à 20 MW faisant partie du Fonds Chaleur de l'ADEME fonctionnant à la biomasse [1004].

### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1.0</sub>**

La granulométrie est obtenue en appliquant des profils granulométriques moyens par combustibles, et techniques de dépoussiérage et les hypothèses suivantes :

- Installations de puissance supérieure à 50 MW : ces installations sont supposées être équipées à 50% de cyclones et à 25% d'électrofiltres (les installations restantes n'étant pas équipées de dépoussiéreurs) ;
- Installations de puissance inférieure à 50 MW : ces installations sont supposées être équipées à 75% de cyclones (les installations restantes n'étant pas équipées de dépoussiéreurs).

Les profils granulométriques moyens par combustible sont présentés dans la section générale énergie sauf en ce qui concerne quelques combustibles pour lesquels des valeurs plus appropriées sont tirées de la référence [183].

### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2.5</sub>. Ce ratio provient des références [936][1273].

Les ratios retenus pour dépendent de la puissance de l'équipement :

Equipements > 50 MW :

- 2,2% pour les combustibles solides hors biomasse,
- 15% pour la biomasse solide,
- 5,6% pour les combustibles liquides - FOL,
- 33,5% pour les combustibles liquides - FOD,
- 2,5% pour les combustibles gazeux (hors biogaz),
- 4% pour le biogaz.

Equipements < 50 MW :

- 6,4% pour les combustibles solides (hors bois),
- 28% pour le bois,
- 56% pour les combustibles liquides,
- 4% pour les combustibles gazeux.

#### **Métaux lourds (ML)**

Les émissions de l'ensemble des métaux lourds sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

Pour l'arsenic (As), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le nickel (Ni) et le plomb (Pb), des facteurs d'émission spécifiques sont utilisés pour les installations de puissance inférieure à 20 MW ou inférieure à 1MW fonctionnant au bois [1212].

#### **Dioxines et furannes (PCDD-F)**

Les émissions de dioxines/furannes sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible présentés dans la section générale énergie.

#### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Au sens de la CEE-NU, les HAP regroupent les quatre substances suivantes : benzo(a)pyrène (BaP), benzo(b)fluoranthène (BbF), benzo(k)fluoranthène (BkF) et indéno(123-cd)pyrène (IndPy).

Les émissions de chacun des HAP concernés sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible présentés dans la section générale énergie sauf pour le bois et les déchets de bois pour lesquels les valeurs utilisées proviennent de la référence [67].

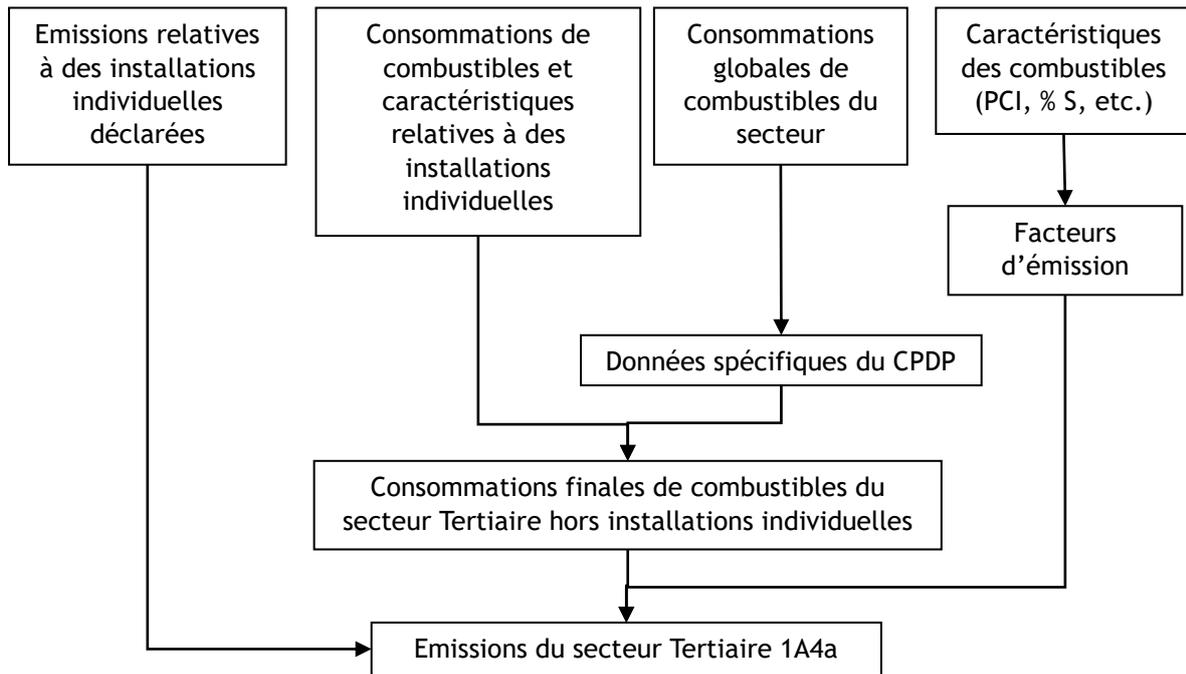
#### **Polychlorobiphényles (PCB)**

Les émissions de PCB sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

#### **Hexachlorobenzène (HCB)**

Les émissions de HCB sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
18/01/2024	BC	13/02/2024	JV

## SECTEURS RESIDENTIEL

Cette section concerne les installations de combustion fixes et mobiles du secteur résidentiel.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.4.b
CEE-NU / NFR	1.A.4.b
SNAPc (extension CITEPA)	02.02.01 à 02.02.05, 08.09.01 et 08.09.02
CE / directive IED	1.1 (champ limité aux installations > 50 MW)
CE / E-PRTR	1c (champ limité aux installations > 50 MW)
CE / directive GIC	02.02.01 (+02.02.03 à partir de l'inventaire relatif à 2004)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bilan national de l'énergie	Valeurs nationales ou valeurs par défaut

### Niveau de méthode :

CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O : Rang 1/2

### Références utilisées :

- [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
- [14] CPDP - Pétrole (publication annuelle)
- [41] SNCU - Enquête chauffage urbain (enquête annuelle)
- [63] MINEFI - DIDEME - Données internes non publiées
- [67] Citepa - N. ALLEMAND - Estimation des émissions de polluants liées à la combustion du bois en France - mars 2003
- [68] OFEFP - Mesures pour la réduction des émissions de PM<sub>10</sub>. Document Environnement n°136 - juin 2001
- [69] INSTITUT D'EMISSION D'OUTRE-MER (IEOM) - Rapport annuel
- [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

- [79] TNO - Particulate matter emissions ( $PM_{10}$  -  $PM_{2.5}$  -  $PM_{0.1}$ ) in Europe in 1990 and 1993 - février 1997
- [183] Citepa - IER - Study on particulate matter emissions: particle size distribution chemical composition and temporal profiles - Interreg III for ASPA, January 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
- [350] Determination of atmospheric pollutant emission factors at small industrial wood burning furnace, AEAT, March 2001
- [355] PNUE - Outil spécialisé (Toolkit) pour l'identification et la quantification des rejets de dioxine et furanes, Février 2005
- [421] CEREN - Bilan national du bois de chauffage à partir des enquêtes Logement de l'INSEE, pluriannuelle
- [422] Observ'ER : Synthèse annuelle du marché (anciennement SER - Brochure annuelle : le chauffage au bois domestique)
- [423] Directive européenne 2002/88/CE relative aux moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers
- [459] EMEP / EEA Guidebook - édition 2019 - 1A4 Small combustion - FE pour le 1A4b residential (Tables 3-15, 3-16, 3-18)
- [580] EMEP / EEA Mai 2009 - Secteur 1A4, Tables 3-22, 3-28 et 3-20
- [638] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - section I.8 - table 1- 4 ( $CO_2$ ) ; Volume 2 - tables 2.2, 2.3, 2.4 et 2.5 ( $CH_4$  et  $N_2O$ )
- [645] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - Chapitre 3 Combustion sources mobiles, Table 3.3.1
- [936] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.1 Energy industries, tables 3-2 / 3-4 / 3-7 / 3-11 / 3-19, FE TSP et BC
- [1005] Note technique de faisabilité pour l'évolution de la méthodologie du calcul des émissions de  $NO_x$  des chaudières résidentielles au fioul et gaz naturel, Citepa, 2019.
- [1006] Energi- og Miljødata, Dansk Gasteknisk Center, November 2009
- [1112] Panorama du gaz renouvelable - Publication annuelle - GRDF, GRTgaz, Syndicat des énergies renouvelables, SPEGNN, Teréga
- [1128] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1a4 Non-road mobile sources and machinery - Table 3-1, EF Tier 1
- [1132] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.3.b.vi-vii Road tyre and brake wear
- [1213] Réévaluation des facteurs d'émission des particules totales (solide et condensable) du chauffage domestique au bois, impacts sur les inventaires d'émission, Ineris & Citepa - 206576 - 2740861 - v2.0

[1214] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1A4 Small combustion - Tables 3.39 à 3.44 - Tier 2 emission factors for NFR source category 1.A.4.b, using biomass

[1271] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1a4 Non-road mobile sources and machinery, Annexe E - Table E.1 Diesel <130 kW 1991- Stage 1

[1272] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1A4 Small combustion - FE BC pour le 1A4b residential (Tables 3.3 et 3.4)

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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.

## Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

### *Sources mobiles*

Les équipements mobiles dans le secteur résidentiel consommateurs d'énergie fossile sont nombreux et divers. Leur identification et leur dénombrement sont délicats car il n'existe pas de statistique spécifique et fiable concernant les parcs et les consommations d'énergie.

A partir des données disponibles sur les ventes [72, 73], de caractéristiques d'utilisation de ces équipements [71] et de diverses hypothèses relatives à l'importation et à l'exportation, à l'utilisation des tailles d'équipements dans le secteur visé, *etc.*, les parcs des engins et leurs consommations sont estimées pour l'année 1990. Pour les années suivantes, l'évolution des consommations est ajustée proportionnellement à l'évolution de la population métropolitaine française. Il est fait l'hypothèse que la consommation de gazole est le fait de groupes électrogènes et que la consommation d'essence est principalement le fait de groupes électrogènes et d'engins de jardinage.

Compte tenu des approximations importantes, il est fait l'hypothèse que tous les équipements considérés dans cette section appartiennent au secteur résidentiel et qu'aucun n'appartient au secteur tertiaire. Cette hypothèse n'engendre pas d'erreur autre qu'un biais dans la répartition des sous-secteurs, supposé relativement faible car la majeure partie de ces équipements est utilisée par des particuliers.

### *Sources fixes*

Les consommations des installations résidentielles sont intégrées dans le secteur « résidentiel » du bilan énergétique national [1]. Ces données incluent bien le bois récolté par des particuliers hors du marché économique conventionnel. D'autres sources statistiques sont disponibles pour l'outre-mer [63][69].

Les données complémentaires disponibles dans les services en charge du bilan énergétique national [1] et publiées par le CPDP [14] permettent une distinction plus fine vis-à-vis des combustibles, notamment pour la gazole non routier (GnR), de la répartition entre secteurs résidentiel et tertiaire ainsi que parmi les usages (chauffage, eau chaude sanitaire, cuisson).

L'estimation des émissions liées à l'usage du bois dans les appareils domestiques individuels est réalisée à l'aide d'une méthodologie spécifique permettant la prise en compte de la diversité des appareils domestiques de chauffage au bois. En effet, les facteurs d'émission varient fortement d'un type d'équipement à un autre, c'est pourquoi les émissions de ce secteur sont calculées à partir d'un parc d'équipements. Ce parc est estimé, d'une part, à partir de données du CEREN et de l'INSEE [421] proposant des distributions d'équipements au regard de certaines années et, d'autre part, des données de ventes d'équipements fournies par Observ'ER [422]. La part spécifique de consommation des granulés de bois (généralement moins émissifs) est en forte hausse et est prise en compte à partir de l'année 2004 [1]. La répartition des consommations selon le type d'appareil est présentée dans la base de données OMINEA.

La part de biométhane consommée est retranchée de la consommation de gaz naturel à partir des données du bilan énergétique national annuel [1] et des publications annuelles du panorama du gaz renouvelable [1112].

Il est à noter que les consommations d'énergie de ce secteur sont directement liées à la rigueur climatique.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont déterminées au moyen de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie).

### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

#### Sources fixes

Les émissions de CH<sub>4</sub> 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 CH<sub>4</sub> 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).

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

#### Sources fixes

Les émissions de N<sub>2</sub>O sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

#### Sources mobiles

Les émissions de N<sub>2</sub>O 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).

### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions de SO<sub>2</sub> sont déterminées à partir de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie).

### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

#### Sources fixes

Les émissions de NO<sub>x</sub> sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible [459].

Une évolution temporelle des émissions de NO<sub>x</sub> des chaudières domestiques fonctionnant au gaz naturel a été implémentée pour prendre en compte l'amélioration de la performance des brûleurs sur la période, supposant un taux de renouvellement constant de 4% sur la période [1005].

Gaz naturel	Période	FE NO <sub>x</sub> (g/GJ)	Source
Chaudières domestiques au gaz naturel	1970 - 1989	70	[580]
	1990 - 2004	42	[459]
	2004 - 2018	19	[1006]

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 des lignes directrices EMEP/EEA [1214] :

Bois	Période d'installation des appareils	FE NO <sub>x</sub> (g/GJ)	Source
Chaudières - bûches	Dites « anciennes » (jusqu'en 2010)	80	[1214]
	Dites « récentes » (à partir de 2005)	87,5	-
	Dites « performantes » (à partir de 2015)	95	
Poêles, inserts et cuisinières - bûches	Dites « anciennes » (jusqu'en 2010)	50	[1214]
	Dites « récentes » (à partir de 2005)	80	
	Dites « performantes » (à partir de 2015)	95	
Foyers ouverts - bûches	Pas de distinction	50	
Chaudières et poêles - granulés	Pas de distinction	80	

#### Sources mobiles

Avant 2005, les émissions de NO<sub>x</sub> sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission moyens par combustible [71]. A partir de 2005, les prescriptions de la directive 2002/98/CE relative aux moteurs à combustion interne des engins mobiles non routiers sont prises en compte pour le calcul de facteurs d'émission [423], ce qui entraîne une évolution temporelle de ceux-ci.

Pour information les facteurs d'émission correspondant à chaque niveau de la réglementation pour les engins essence sont présentés ci-après :

Engin	Etape	FE NO <sub>x</sub> (g/GJ)
Groupes électrogènes	Pré directive	253
	Stage I	310
	Stage II	310
Tondeuses	Pré directive	325
	Stage I	319
	Stage II	319
Micro tracteurs	Pré directive	170
	Stage I	198
	Stage II	179
Débroussailleuses	Pré directive	68
	Stage I	68
	Stage II	60
Tronçonneuses	Pré directive	73
	Stage I	73
	Stage II	75

#### **Emissions de COVNM**

Sources fixes

Les émissions de COVM sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission moyens par combustible [459].

Pour la combustion du bois domestique, des facteurs d'émission spécifiques sont utilisés selon le type d'appareils et selon leurs performances, déterminés à partir de plusieurs études [67][338].

Sources mobiles

Avant 2005, les émissions de COVM sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission moyens par combustible [71]. A partir de 2005, les prescriptions de la directive 2002/98/CE relative aux moteurs à combustion interne des engins mobiles non routiers sont prises en compte pour le calcul de facteurs d'émission [423], ce qui entraîne une évolution temporelle de ceux-ci.

Pour information les facteurs d'émission correspondant à chaque niveau de la réglementation pour les engins essence sont présentés ci-après :

Engin	Etape	FE COVM (g/GJ)
Groupes électrogènes	Pré directive	1 010
	Stage I	706
	Stage II	706
Tondeuses	Pré directive	1 039
	Stage I	726
	Stage II	726
Micro tracteurs	Pré directive	909
	Stage I	563
	Stage II	509
Débroussailleuses	Pré directive	15 909
	Stage I	7 318
	Stage II	3 212
Tronçonneuses	Pré directive	11 364
	Stage I	10 955
	Stage II	2 198

**Emissions de CO**Sources fixes

Les émissions de CO sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission moyens par combustible [67] et [459].

Sources mobiles

Avant 2005, les émissions de CO sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission moyens par combustible. A partir de 2005, les prescriptions de la directive 2002/98/CE relative aux moteurs à combustion interne des engins mobiles non routiers sont prises en compte pour le calcul de facteurs d'émission [423], ce qui entraîne une évolution temporelle de ceux-ci.

Pour information les facteurs d'émission correspondant à chaque niveau de la réglementation pour les engins essence sont présentés ci-après :

Engin	Etape	FE CO (g/GJ)
Groupes électrogènes	Pré directive	15 783
	Stage I	15 783
	Stage II	15 783
Tondeuses	Pré directive	32 468
	Stage I	32 468
	Stage II	32 468
Micro tracteurs	Pré directive	17 045
	Stage I	17 045
	Stage II	17 045
Débroussailleuses	Pré directive	22 727
	Stage I	22 727
	Stage II	22 727
Tronçonneuses	Pré directive	34 091
	Stage I	34 091
	Stage II	34 091

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission par défaut par combustible (cf. section générale énergie).

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 des lignes directrices EMEP/EEA [1214] :

Bois	Période d'installation des appareils	FE NH <sub>3</sub> (g/GJ)	Source
Chaudières - bûches	Dites « anciennes » (jusqu'en 2010)	74	[1214]
	Dites « récentes » (à partir de 2005)	55,5	-
	Dites « performantes » (à partir de 2015)	37	
Poêles, inserts et cuisinières - bûches	Dites « anciennes » (jusqu'en 2010)	70	[1214]
	Dites « récentes » (à partir de 2005)	37	
	Dites « performantes » (à partir de 2015)	37	
Foyers ouverts - bûches	Pas de distinction	74	
Chaudières et poêles - granulés	Pas de distinction	12	

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

#### Sources fixes

Les émissions de TSP sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible [459] et [936].

Pour la combustion du bois domestique, des facteurs d'émission spécifiques sont utilisés selon le type d'appareils et selon leurs performances, déterminés à partir de plusieurs études [1213][1214]. Les

particules dites « condensables » (qui passent à l'état solide lors du refroidissement et de la dilution des fumées) sont bien comptabilisées dans l'ensemble de facteurs appliqués :

Bois	Période d'installation des appareils	FE TSP (g/GJ)	Source
Chaudières - bûches	Dites « anciennes » (jusqu'en 2010)	500	[1214]
	Dites « récentes » (à partir de 2005)	300	-
	Dites « performantes » (à partir de 2015)	100	[1214]
Poêles, Inserts et cuisinières - bûches	Dites « anciennes » (jusqu'en 2010)	800	[1214]
	Dites « récentes » (à partir de 2005)	417	[1213]
	Dites « performantes » (à partir de 2015)	282	[1213]
Foyers ouverts - bûches	Pas de distinction	932	[1214]
Chaudières et poêles - granulés	Pas de distinction	62	[1214]

Ces facteurs d'émission ne prennent pas en compte les éventuelles émissions supplémentaires des phases d'allumage à froid et d'extinction du feu mais sont représentatifs d'un fonctionnement, à part égale, entre allure nominale et allure réduite (plus émissive) des appareils domestiques.

Ces facteurs d'émission ne prennent pas en compte l'évolution depuis 1990 des usages des appareils par les particuliers (méthodes d'allumage, entretien et maintenance, taux d'humidité du combustible, choix de l'essence de bois, forme des bûches, part éventuelle de bois traité ou de déchets (papier, carton ou autres), ...) qui peuvent aussi affecter de façon significatives les émissions de particules.

### Sources mobiles

Deux types d'émissions de TSP sont déterminés pour les sources mobiles :

- Combustion de carburants : les émissions de TSP sont déterminées à partir de facteurs d'émission relatifs à la nature du carburant (essence et gazole) et au type d'engin (2 temps et 4 temps pour les engins à essence) [68] ;
- Abrasion mécanique : les émissions de TSP relatives à l'abrasion (usure des pneus, des freins, des embrayages et du revêtement routier) sont déterminées par rapport à un temps d'utilisation des engins et de facteurs d'émission moyens [68]. Seuls les micro-tracteurs sont supposés avoir une usure relative non négligeable et sont assimilés aux motoculteurs du secteur agricole.

### **Emissions de $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ , $PM_{1.0}$**

La granulométrie est obtenue en appliquant des profils granulométriques moyens par combustible [68], [79] et [183].

### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de  $PM_{2.5}$ . Ce ratio provient des références [459][1128][1132][1271][1272].

Les ratios retenus pour dépendent des sources :

### Sources fixes

- 6,4% pour les combustibles solides hors biomasse [1272],
- 3,9% pour les combustibles liquides [459],
- 5,4% pour les combustibles gazeux (hors biogaz) [1272]

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 des lignes directrices EMEP/EEA [1214]. Les particules dites « condensables » sont bien comptabilisées dans l'ensemble de facteurs appliqués :

Bois	Période d'installation des appareils	FE BC (%/PM <sub>2,5</sub> )	Source
Chaudières - bûches	Dites « anciennes » (jusqu'en 2010)	16%	[1214]
	Dites « récentes » (à partir de 2005)	22%	-
	Dites « performantes » (à partir de 2015)	28%	
Poêles, Inserts et cuisinières - bûches	Dites « anciennes » (jusqu'en 2010)	10%	[1214]
	Dites « récentes » (à partir de 2005)	16%	
	Dites « performantes » (à partir de 2015)	28%	
Foyers ouverts - bûches	Pas de distinction	7%	
Chaudières et poêles - granulés	Pas de distinction	15%	

#### Sources mobiles (combustion) [1128][1271]

- 5,0% et 5,1% pour l'essence et bioessence selon l'usage,
- 60,6% pour le diesel et biodiesel.

#### Sources mobiles (abrasion) [1132]

Le ratio retenu est de 10%

#### **Métaux lourds (ML)**

Les émissions de l'ensemble des métaux lourds sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible présentés dans la section générale énergie sauf pour certains combustibles pour lesquels des valeurs plus appropriées sont tirées de la référence [67]. Il est de plus fait l'hypothèse que les performances en termes de réduction d'émissions pour les métaux lourds par les générations successives d'appareils sont similaires à celles observées pour les particules.

#### **Dioxines et furannes (PCDD-F)**

##### Sources fixes

Les émissions de dioxines/furannes sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible présentés dans la section générale énergie sauf pour certains combustibles pour lesquels des valeurs plus appropriées sont tirées de la référence [67].

##### Sources mobiles

Les émissions de dioxines/furannes sont déterminées à partir de facteurs d'émission relatifs à la nature du carburant (essence et gazole) et au type d'engin (2 temps et 4 temps pour les engins à essence) [355].

#### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Au sens de la CEE-NU, les HAP regroupent les quatre substances suivantes : benzo(a)pyrène (BaP), benzo(b)fluoranthène (BbF), benzo(k)fluoranthène (BkF) et indéno(123-cd)pyrène (IndPy).

Les émissions de chacun des HAP concernés sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible présentés dans la section générale énergie sauf pour certains combustibles pour lesquels des valeurs plus appropriées sont tirées des références [67] et [336].

### ***Polychlorobiphényles (PCB)***

#### *Sources fixes*

Les émissions de PCB sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible présentés dans la section générale énergie sauf pour certains combustibles pour lesquels des valeurs plus appropriées sont tirées de la référence [350].

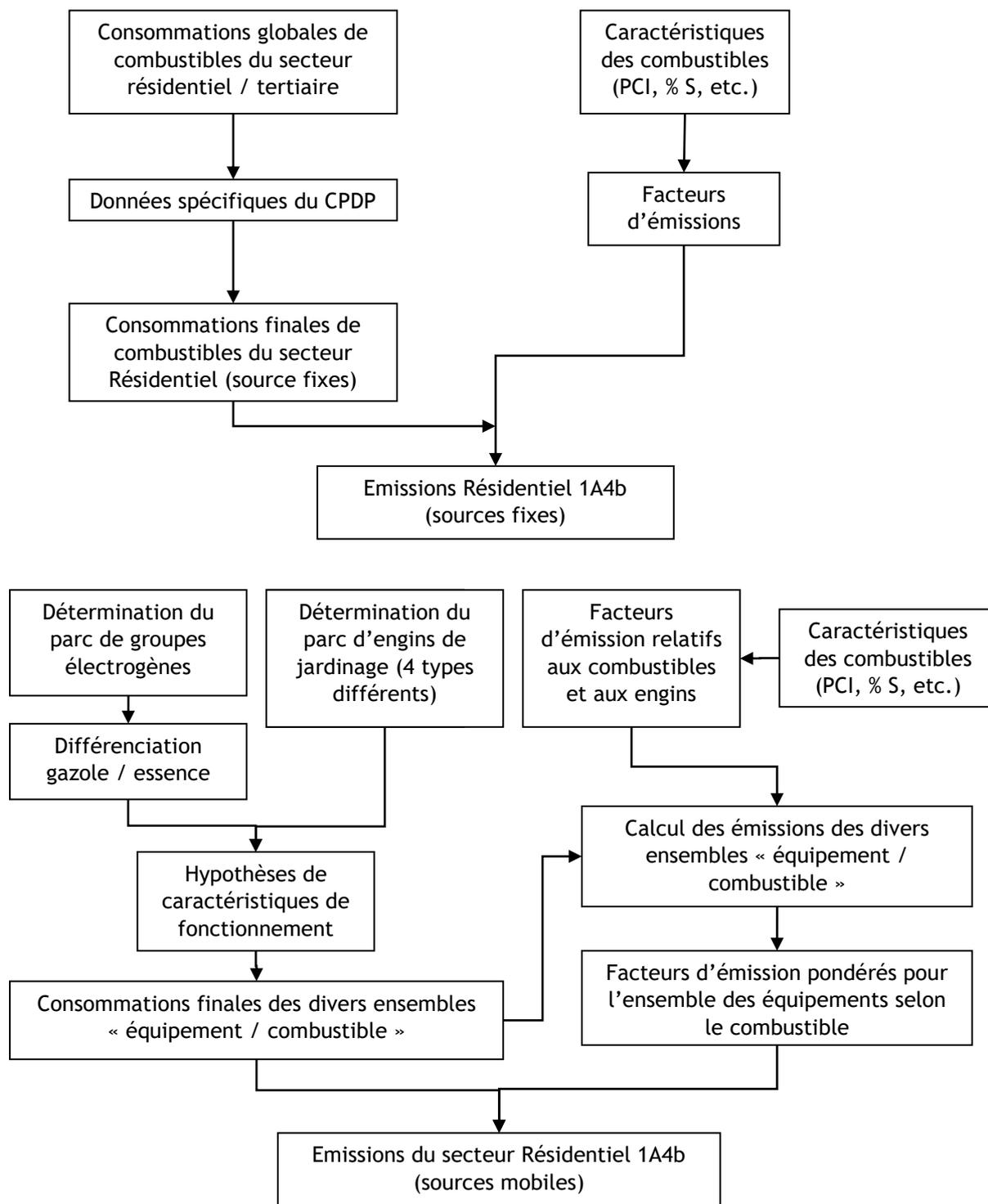
#### *Sources mobiles*

Les émissions de PCB liées à la combustion des sources mobiles sont considérées comme nulles ou négligeables.

### ***Hexachlorobenzène (HCB)***

Les émissions de HCB sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

## Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
04/01/2024	GB		JV

## AGRICULTURE / SYLVICULTURE (COMBUSTION)

La présente section traite des émissions liées à la combustion provenant des activités agricoles et sylvicoles. Elle traite séparément les sources fixes (installations de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire, de climatisation, etc.) et les sources mobiles (tracteurs, moissonneuses, désherbeuses, etc.).

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.4.c.i et 1.A.4.c.ii
CEE-NU / NFR	1.A.4.c i et 1.A.4.c ii
SNAPc (extension Citepa)	02.03.01 à 02.03.05 (fixe), 08.06 et 08.07 (mobile)
CE / directive IED	Limité aux installations > 50 MW quel que soit le secteur d'activité
CE / E-PRTR	Limité aux installations > 50 MW quel que soit le secteur d'activité
CE / directive GIC	02.03.01 (+02.03.03 à partir de l'inventaire relatif à 2004)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Top-down	Valeurs par défaut appliquées aux consommations des installations fixes et mobiles en tenant compte des parcs nationaux d'engins

### Niveau de méthode :

Rangs 1 et 2

### Références utilisées :

[1] SDES (SOeS et anciennement Observatoire de l'Energie) - bilans de l'Energie français (données non corrigées du climat). Communication annuelle

[14] CPDP - Pétrole (publication annuelle)

[49] TNO - Etude CEPMEIP relative aux émissions de particules, 2001

[59] AEE - COPERT III - SAMARAS Z. & al. - Methodology and Emission Factors, 2000

[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

- [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
- [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 polluants (JO du 23 décembre 2005)
- [142] UBA - Entwicklung eines Modelis zur Berechnung der Luftschadstoffemissionen und des Kraftstoffverbrauchs von Verbrennungsmotoren in mobilien Geräten un Maschinen - Janvier 2004
- [285] ADEME - Evaluation comparative actuelle et prospective des émissions du parc d'appareils domestiques de chauffage en France (document confidentiel), Septembre 2005
- [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/>)
- [355] PNUE - Outil spécialisé (Toolkit) pour l'identification et la quantification des rejets de dioxine et furanes, Février 2005
- [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
- [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.
- [681] Emissions of Black carbon and Organic carbon in Norway 1990-2011
- [935] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1A4 Non-road mobile sources and machinery, table 3-1 (Tier 1)
- [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)
- [1004] Note de l'ADEME - Proposition d'évolution des facteurs d'émission 1 à 20MW. 18/03/2019

[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

[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

[1033] EMEP / EEA Guidebook - édition 2016 - 1A4 Small combustion - FE Tier 2 pour le 1A4c agriculture/forestry (Tables 3-23 à 3-26)

[1034] EMEP / EEA Guidebook - édition 2016 - 1A4 Small combustion - FE Tier 1 pour NH3 pour biomasse (Table 3-10)

[1076] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1a4 Non-road mobile sources and machinery - Table 3.6, EF Tier 3

[1134] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.3.b.i-iv Road transport

[1211] Valorisation et partage de la connaissance du parc des installations bois-énergie, rapports annuels, CIBE

[1212] Cortea Acibioqa - Amélioration des connaissances en matière d'impact des chaufferies biomasse sur la qualité de l'air, ADEME

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Les caractéristiques des combustibles pris en compte sont les caractéristiques moyennes par défaut décrites dans la section générale sur l'énergie.

#### Sources fixes

La consommation de combustibles fossiles et de biomasse des sources fixes agricoles est déterminée à partir du bilan de l'énergie produit annuellement par le SDES [1] pour la métropole. Pour la biomasse, une distinction supplémentaire est effectuée pour distinguer les équipements d'une puissance nominale inférieure à 1 MW de ceux d'une puissance nominale entre 1 et 20 MW, sur la base de données annuelles du CIBE [1211].

La part de biométhane consommé est retranchée de la consommation de gaz naturel à partir des données fournies dans le bilan de l'énergie [1].

D'autres sources statistiques sont disponibles pour l'Outre-mer [69]. La consommation de gaz de pétrole liquéfié (GPL) du secteur en Outre-mer est considérée en totalité dans les sources fixes.

#### Sources mobiles

Les équipements mobiles dans les secteurs agricoles et sylvicoles sont supposés consommer la totalité des consommations de FOD, de GNR et d'essence indiquées 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 l'Agreste [333], et extrapolés pour les années manquantes. Il est également pris en compte un parc de tronçonneuses sur la base des données disponibles [72, 73] dans les proportions respectives de 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.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> 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.

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Pour les sources fixes, les émissions de CH<sub>4</sub> 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 fournis 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 6 : Facteurs d'émission du CH<sub>4</sub> 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...	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	1,5

Presses à grosses balles							
Pulvérisateurs automoteurs							
Récolteuses de maïs automotrices							
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

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Les émissions de N<sub>2</sub>O 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].

### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions sont déterminées au moyen de facteurs d'émission basé sur les teneurs en soufre moyennes et des pouvoirs calorifiques moyens des combustibles. Ces facteurs d'émission sont décrits dans la section générale sur l'énergie.

#### Emissions de NO<sub>x</sub>

Pour les installations fixes, les émissions sont déterminées au moyen de facteurs d'émission par combustible. Ces facteurs d'émission sont décrits dans la section générale sur l'énergie. Pour la combustion du bois, une étude sur les installations fonctionnant à la biomasse, inférieures à 1 MW et comprises entre 1 et 20 MW, donne des facteurs d'émission de NO<sub>x</sub> spécifiques [1212].

Pour les sources mobiles, les émissions 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 la mise en œuvre des réglementations récentes et l'évolution du parc [139, 140, 142, 1029]. Enfin, une méthode d'ajustement des facteurs d'émission, en prenant en compte un facteur de détérioration selon le Stage et l'âge des machines, est appliquée aux facteurs d'émission moyens des engins diesel, selon le guide EMEP/EEA 2016 [1031].

Tableau 7 : Facteurs d'émission pour les NO<sub>x</sub> 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	1 333	876	667	405	362	38	38
Automoteurs télescopiques	1 235	811	617	375	291	35	35
Moissonneuses batteuses	1 361	894	583	356	194	39	39

Ensileuses automotrices	1 235	811	529	323	176	35	39
Epandeur de lisier							
Motoculteurs, motofaucheuse S...							
Presses à grosses balles	1 169	1 169	1 169	1 169	1 169	1 169	661
Pulvérisateurs automoteurs							
Récolteuses de maïs automotrices							
Tracteurs forestiers	1 449	952	621	380	342	41	41
Débusqueuses	1 449	952	621	380	342	41	41
Débardeuses	1 449	952	725	440	342	41	41

Tableau 8 : Facteurs d'émission pour les NO<sub>x</sub> par gamme et par norme d'engin essence

g/GJ	Pré-Directive	Stage I	Stage II	Stage V
Motoculteurs	183	223	223	139
Tronçonneuses	48	71	78	78

**Emissions de COVNM**

Pour les installations fixes, les émissions sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission issus d'EMEP [1033] pour les combustibles fossiles et d'une étude du Citepa [67] pour le bois. Pour la combustion du bois, les facteurs d'émission de COVNM des installations inférieures à 20 MW [1212] sont appliqués, avec une distinction pour celles faisant partie du Fond Chaleur [1004], à partir de 2010, et celles d'une puissance inférieure à 1 MW..

Pour les sources mobiles, les émissions 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 la mise en œuvre des réglementations récentes et l'évolution du parc [139, 140, 142, 1029]. Enfin, une méthode d'ajustement des facteurs d'émission, en prenant en compte un facteur de détérioration selon le Stage et l'âge des machines, est appliquée aux facteurs d'émission moyens des engins diesel, selon le guide EMEP/EEA 2016 [1031].

Tableau 9 : Facteurs d'émission pour les COVNM 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	224	124	124	43	38	18	18
Automoteurs télescopiques	182	115	115	39	17	17	17
Moissonneuses batteuses	126	126	97	32	18	18	18
Ensileuses automotrices	115	115	88	29	17	17	17
Epandeur de lisier Motoculteurs, motofaucheuses...							
Presses à grosses balles Pulvérisateurs automoteurs Récolteuses de maïs automotrices	357	357	357	357	357	357	67
Tracteurs forestiers	135	135	104	35	31	20	20
Débusqueuses	199	135	104	35	31	20	20
Débardeuses	219	135	135	46	41	20	20

Tableau 10 : Facteurs d'émission pour les COVNM par gamme et par norme d'engin essence

g/GJ	Pré-Directive	Stage I	Stage II	Stage V
Motoculteurs	1 081	508	508	316
Tronçonneuses	11 837	11 411	2 289	2 289

## Emissions de CO

Pour les installations fixes, les émissions sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission tirés du Guide EMEP [1033]. Pour la combustion du bois, une distinction est faite pour les facteurs d'émission pour les installations inférieures à 1 MW et celles entre 1 et 20 MW [1212].

Pour les sources mobiles, les émissions 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 la mise en œuvre des réglementations récentes et l'évolution du parc [139, 140, 142, 1029]. Une méthode d'ajustement des facteurs d'émission, en prenant en compte un facteur de détérioration selon le Stage et l'âge des machines, est appliquée aux facteurs d'émission moyens des engins diesel, selon le guide EMEP/EEA 2016 [1031]. Des valeurs élevées de l'ordre de 30 000 g/GJ sont utilisées pour l'essence compte tenu des modes d'utilisation de la plupart de ces engins (accélération fréquentes) et de l'introduction de dispositions limitatrices des émissions que très récemment et n'affectant pas la plus grande partie du parc.

Tableau 11 : Facteurs d'émission pour le CO 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	497	472	472	472	472	472	472
Automoteurs télescopiques	405	334	334	334	334	334	334
Moissonneuses batteuses	292	292	292	292	292	292	292
Ensileuses automotrices	265	265	265	265	265	265	265
Epandeur de lisier Motoculteurs, motofaucheuses...							
Presses à grosses balles Pulvérisateurs automoteurs	783	783	783	783	783	783	617
Récolteuses de maïs automotrices							
Tracteurs forestiers	311	311	311	311	311	311	311
Débusqueuses	445	445	445	445	445	445	445
Débardeuses	488	488	488	488	488	488	488

Tableau 12 : Facteurs d'émission pour le CO par gamme et par norme d'engin essence

g/GJ	Pré-Directive	Stage I	Stage II	Stage V
Motoculteurs	22 727	22 727	22 727	22 727
Tronçonneuses	33 144	33 144	33 144	33 144

### Emissions de NH<sub>3</sub>

Les émissions de NH<sub>3</sub> des sources fixes sont supposées globalement négligeables pour les combustibles autres que le bois, d'autant plus qu'il n'y a actuellement pas d'installation munie de dispositif d'épuration des NO<sub>x</sub> dont la nature du procédé serait susceptible de rejeter cette substance. Les émissions de NH<sub>3</sub> liées à la combustion de bois sont estimées au moyen de facteurs d'émission tirés du Guidebook EMEP/EEA [1034]. Toutes les émissions de NH<sub>3</sub> des sources mobiles sont estimées à partir des facteurs d'émission proposés dans le Guidebook EMEP / EEA [935].

### Emissions de particules liées à la combustion (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>)

Pour les installations fixes, les émissions de TSP sont déterminées au moyen de facteurs d'émission par combustible proposés par le guide EMEP/EEA [1033] pour le secteur tertiaire. Pour la combustion de bois, une distinction est faite à partir de 2010 avec l'intégration de facteurs spécifiques pour les installations faisant partie du Fond Chaleur [1004]. Les émissions de PM sont estimées avec une granulométrie identique à celle utilisée dans le secteur tertiaire.

Pour les sources mobiles, les émissions 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 la mise en œuvre des réglementations récentes et l'évolution du parc [139, 140, 142, 1029]. Enfin, une méthode d'ajustement des facteurs d'émission, en prenant en compte un facteur de détérioration selon le Stage et l'âge des machines, est appliquée aux facteurs d'émission moyens des engins diesel, selon le guide EMEP/EEA 2016 [1031].

Tableau 13 : Facteurs d'émission pour les TSP 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	140	77	36	36	2	2	1
Automoteurs télescopiques	140	84	40	40	2	2	2
Moissonneuses batteuses	140	69	25	25	3	3	2
Ensileuses automotrices	140	69	25	25	3	3	2
Epandeur de lisier Motoculteurs, motofaucheuses...							
Presses à grosses balles Pulvérisateurs automoteurs	140	140	140	140	140	140	25
Récolteuses de maïs automotrices							
Tracteurs forestiers	126	62	23	23	2	3	2
Débusqueuses	126	65	28	28	2	2	1
Débardeuses	126	74	35	35	2	2	1

Pour les sources mobiles, les facteurs d'émission  $PM_{10}$  et  $PM_{2,5}$  sont estimés à partir des données disponibles auprès du CEPMEIP [49].

Emissions de particules liées à l'abrasion mécanique (TSP,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ )

Les émissions de particules totales relatives à l'abrasion (usure des pneus, des freins, des embrayages et du revêtement routier) sont déterminées par rapport au temps d'utilisation des engins. Les facteurs d'émission TSP sont estimés à partir des facteurs d'émission  $PM_{10}$  fournis par l'OFEFP [68] et du ratio TSP/ $PM_{10}$  déduit de valeurs moyennes obtenues pour les engins routiers. Cette référence OFEFP [68] produit une information détaillée par type d'abrasion (pneumatiques, freins, embrayages et revêtement routier). Les tracteurs, moissonneuses, débardeuses et débusqueuses sont assimilés aux poids lourds tandis que les motoculteurs sont assimilés aux véhicules particuliers. Les facteurs d'émission utilisés dans l'inventaire ont été estimés en considérant que les tracteurs fonctionnent uniquement 5% de leur temps sur un revêtement routier.

En ce qui concerne les motoculteurs, l'abrasion du revêtement routier est supposée ne pas avoir lieu et pour les équipements non munis de roues (tronçonneuses), il est supposé qu'il n'y ait pas d'émission liée à l'abrasion.

Tableau 14 : Facteurs d'émission pour les particules liées à l'abrasion

Type d'engins	g TSP / h	g $PM_{10}$ / h	g $PM_{2,5}$ / h
Tracteurs, moissonneuses, débardeuses, etc.	6,7	3,2	1,7
Motoculteurs	7,3	1,3	0,3

#### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de  $PM_{2,5}$ .

Les ratios retenus dépendent des sources :

#### Sources fixes [1033, 681]

- 6,4% pour les combustibles solides (hors bois),
- 28% pour le bois,
- 56% pour les combustibles liquides,
- 4% pour le gaz naturel.

#### Sources mobiles (combustion) [935, 938]

Les ratios retenus sont différents selon les combustibles considérés :

- Diesel : ratio fixe BC par rapport aux TSP évoluant selon les normes de moteurs [938]. Le ratio final BC (en %  $PM_{2,5}$ ) varie donc annuellement selon l'évolution du parc des engins (cf. base de données),
- Essence : 5%.

#### Emissions de métaux lourds (ML)

Les émissions des métaux lourds sont calculées à partir de facteurs d'émission par combustible détaillés dans la section générale énergie (à l'exception des émissions liées à l'essence).

Les engins à moteur 2 temps fonctionnant à l'essence ont des émissions de métaux plus élevées du fait de l'huile introduite dans le mélange qui en contient. Pour les engins à moteur 4 temps consommant de l'essence, les facteurs d'émission sont issus de la publication de PULLES T. [675]. Pour les engins à moteur 2 temps consommant de l'essence, le Guidebook EMEP/EEA [935] fournit des facteurs d'émission pour six des neuf métaux lourds inventoriés. Pour l'arsenic, le mercure et le plomb, qui manquent dans le guide EMEP/EEA, les facteurs d'émission des moteurs 4 temps [675] sont affectés aux moteurs 2 temps.

Pour les carburants d'origine biomasse, les mêmes facteurs d'émission en unité massique (i.e., en mg/t) que pour leurs composantes fossiles sont appliqués, mais différent en unité énergétique (i.e., en mg/GJ) car les PCI évolutifs des biocarburants sont considérés.

#### Emissions de dioxines et furannes (PCDD-F)

Pour les installations fixes, les émissions de dioxines et furannes sont calculées à partir de facteurs d'émission par combustible détaillés dans la section générale énergie.

Pour les sources mobiles, le facteur d'émission est issu d'un outil spécialisé (Toolkit) développé par le PNUE [355].

#### Emissions d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les émissions des HAP des sources fixes sont calculées à partir de facteurs d'émission par combustible détaillés dans la section générale énergie.

Pour les sources mobiles, les facteurs d'émission appliqués sont égaux à ceux du transport routier, et proviennent du guide EMEP/EEA [1134]. Pour les carburants d'origine biomasse, les mêmes facteurs d'émission que les composantes fossiles sont utilisés en teneur massique, mais sont recalculés en teneur énergétique avec les PCI spécifiques aux biocarburants.

## Emissions de polychlorobiphényles (PCB)

Pour les installations fixes, les facteurs d'émission décrits dans la section générale énergie sont appliqués.

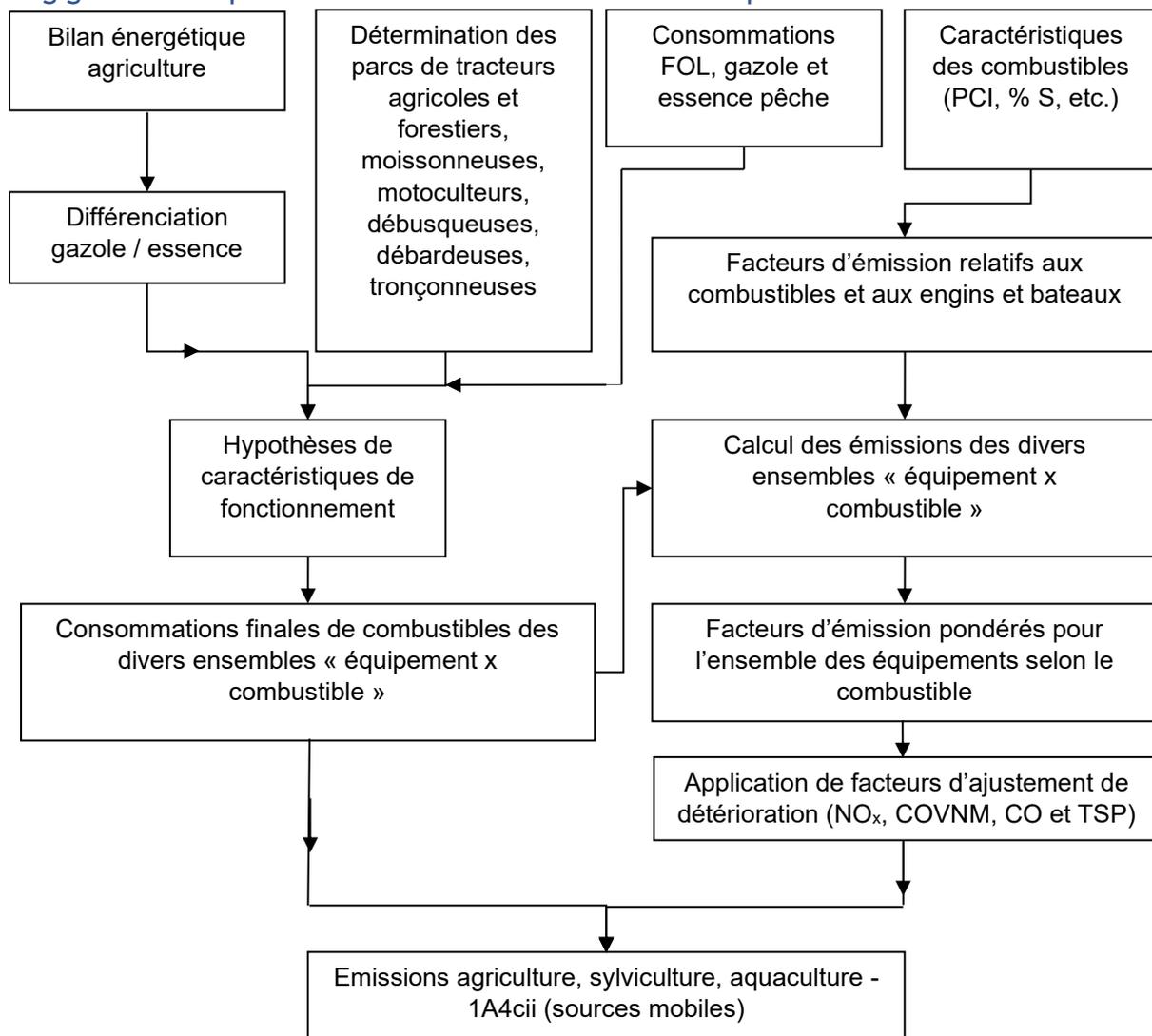
Pour les sources mobiles, il n'y a pas d'émissions de PCB attendues pour ce secteur.

## Emissions d'hexachlorobenzène (HCB)

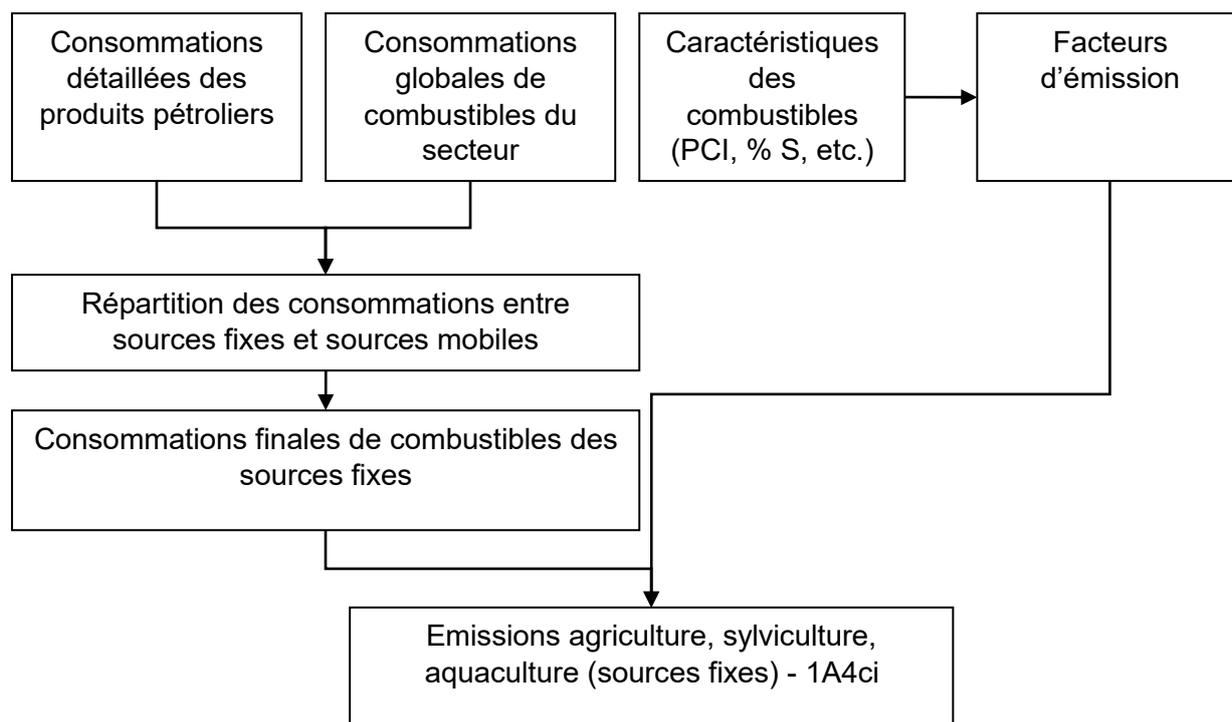
Pour les installations fixes, les facteurs d'émission décrits dans la section générale énergie sont appliqués.

Pour les sources mobiles, les facteurs d'émission de HCB sont issus de la note technique de l'EMEP 6/2000 [74]. Pour les moteurs diesel, ils sont supposés constants ; en revanche, pour les moteurs à essence, ces facteurs varient en fonction de la teneur moyenne en plomb des carburants [74].

## Logigramme du processus d'estimation des émissions pour les sources mobiles



### Logigramme du processus d'estimation des émissions pour les sources fixes



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
06/02/2024	AM	16/02/2024	JMA/JPC

## PECHE NATIONALE

La présente section traite des émissions liées à la combustion provenant de la pêche.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.4.c (partiellement)
CEE-NU / NFR	1.A.4.c iii
SNAPc (extension Citepa)	08.04.03
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Consommations globales de combustibles	Spécifiques aux divers carburants utilisés

### Niveau de méthode :

#### CO<sub>2</sub> :

Méthode de rang 2 (avec des facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> nationaux spécifiques).

#### CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O :

Méthode de rang 1.

#### Polluants :

La méthode de rang 2 est appliquée pour l'estimation des émissions de polluants en général. Cela étant, pour un type de combustible spécifique et pour tous les polluants à l'exception des NO<sub>x</sub>, de CO, des COVNM, des BC et des TSP, les facteurs d'émission de rang 2 sont les mêmes que les facteurs d'émission de rang 1 dans le guide EMEP [1280].

### Références utilisées :

- [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
- [14] CPDP - Pétrole (publication annuelle)
- [341] COOPER D.A. - HCB, PCB and PCDD/F emissions from ships, Atmospheric Environment 39, Page 4908, Avril 2005
- [666] Bilan de l'énergie Outre-mer annuel compilé par le Citepa.

- [669] GIEC - Guidelines 2006, Volume 2, Chapitre 3
- [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) n° 2003/44 du Parlement européen et du Conseil du 20 novembre 2003 relative aux bateaux de plaisance et aux véhicules nautiques à moteur.
- [1149] Base de données de la flotte de bateau de pêche en Europe : EU Fleet Register. [https://webgate.ec.europa.eu/fleet-europa/index\\_en](https://webgate.ec.europa.eu/fleet-europa/index_en)
- [1150] STECF (Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries). Balance capacity - indicator table : <https://stecf.jrc.ec.europa.eu/reports/balance>
- [1221] Fourth IMO GHG Study 2020 Full Report
- [1222] Klimont, Z., Kupiainen, K., Heyes, C., Purohit, P., Cofala, J., Rafaj, P., Borken-Kleefeld, J., & Schöpp, W. (2017). Global anthropogenic emissions of particulate matter including black carbon. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17(14), 8681-8723. <https://doi.org/10.5194/acp-17-8681-2017>
- [1280] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.d Navigation - shipping
- [1281] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.b.i-iv Road transport

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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. Cette distribution du parc flottant est ainsi appliquée aux données de consommation afin d'estimer les niveaux de polluants selon la méthode de rang 2 à partir de facteurs d'émission en g/t ou g/GJ. Les émissions de GES sont quant à elles obtenues en appliquant les facteurs d'émissions en g/GJ directement aux données de consommations pour chaque type de carburant.

#### Détermination du parc statique de bateaux de pêche

Les bateaux de pêche à moteur diesel sont classifiés selon :

- La norme d'émission dans le cadre de la convention MARPOL ([1146], [1147]) :
  - TIER 0 : les bateaux mis en marché avant 2000 ;
  - TIER I : les bateaux mis en marché entre 2000 et 2009 (inclus) ;
  - TIER II : les bateaux mis en marché entre 2010 et 2015 (inclus) ;
  - TIER III : les bateaux mis en marché à partir de 2016
- La motorisation : moteurs à haute vitesse (HSD), moteurs à moyenne vitesse (MSD).

Les bateaux de pêche naviguant à l'essence sont classifiés selon :

- La norme d'émission dans le cadre de la directive (UE) n° 2003/44 [1148] :

- *Pre-control* : les bateaux mis en marché avant 2006 ;
- *Stage I* : les bateaux mis en marché à partir de 2006.
- La motorisation : moteurs 2 temps et à 4 temps.

La répartition du parc statique, par puissance moteur et année de mise en service, est calculée à partir des données statistiques ([1149]). Il en résulte un parc statique de navires par puissance moteur (kW), par motorisation et norme.

#### Détermination du parc flottant de bateaux de pêche

Le parc flottant est déterminé à partir du parc statique précédemment estimé, de la part inactive de navire et du nombre d'heure en mer des navires actifs.

A partir des statistiques ([1150]) la part inactive de bateaux et le nombre de jours en mer par type de navire sont estimés. Il en résulte un parc flottant de navires par motorisation, par norme et par puissance mise en jeu (kWh).

L'hypothèse de répartition constante entre 25% de bateaux à moteurs 2-temps et 75% à 4-temps est considérée pour les bateaux essence.

Une répartition en pourcentage des normes par motorisation est calculée pour répartir les consommations de carburants.

#### Les ventes de carburants à destination des bateaux de pêche

Pour la métropole, les consommations de carburants sont les suivantes :

- Fioul lourd (FOL) : Les consommations sont issues du CPDP [14] qui fournit les consommations totales attribuées à la pêche. A noter que depuis 1997, il n'y a plus de ventes de FOL pour la pêche.
- Gazole pêche : Les consommations sont issues du bilan d'énergie de la France Métropolitaine [1].
- Essence : Les consommations sont issues du CPDP [14] qui fournit les consommations totales attribuées à la pêche.
- Lubrifiant : La consommation d'huile 2-temps mélangée et 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).

#### Les émissions

Les émissions par type de substance sont calculées comme le produit de ces consommations par les facteurs d'émissions associés.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les facteurs d'émission retenus sont les valeurs spécifiques françaises par défaut, cf. section générale énergie.

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Les émissions de CH<sub>4</sub> 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 et à 7,0 g/GJ pour le gazole et le fioul lourd.

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Les émissions de N<sub>2</sub>O 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 1,8 g/GJ pour l'essence et à 2 g/GJ pour le gazole et le fioul lourd.

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les teneurs en soufre des différents combustibles évoluent non linéairement au cours du temps et sont très différentes d'un combustible à l'autre, cf. base de données OMINEA.

Emissions de NO<sub>x</sub>

Le facteur d'émission dépend du type d'équipement, de sa charge elle-même variable selon les phases et du combustible. Les valeurs utilisées sont issues du guide EMEP [1280].

Les facteurs d'émission appliqués en g/GJ pour le gazole sont les suivants :

Motorisation	TIER 0	TIER I (1)*	TIER I (2)*	TIER II	TIER III
moteur diesel à haute vitesse (HSD)	930	808	808	649	137
moteur diesel à moyenne vitesse (MSD)	1359	808	1327	1044	128

\*La catégorie TIER I a été divisée en deux catégories intermédiaires dans le cadre de la convention MARPOL [1147] : TIER I (1) pour les bateaux mis en marché entre 2000 et 2004 (inclus) et TIER I (2) pour les bateaux mis en marché entre 2005 et 2009 (inclus).

Pour le fioul lourd, le facteur d'émission appliqué est égal à 1 383 g/GJ (guide EMEP [1280]).

En ce qui concerne les bateaux à essence, les facteurs d'émission en g/GJ sont les suivants :

Motorisation	pre-control	stage I
2 temps	74	74
4 temps	609	586

**Emissions de COVNM**

Pour les motorisation Diesel, le facteur d'émission dépend uniquement du combustible. Les valeurs utilisées sont issues du guide EMEP [1280].

Pour le fioul lourd, le facteur d'émission est de 45 g/GJ et pour le gazole de 46 g/GJ.

Pour l'essence, les facteurs d'émission qui dépendent de la motorisation et de la norme du moteur, sont les suivants (en g/GJ).

Motorisation	pre-control	stage I
2 temps	5 295	583
4 temps	607	664

**Emissions de CO**

Pour les motorisation Diesel, le facteur d'émission dépend uniquement du combustible. Les valeurs utilisées sont issues du guide EMEP [1280].

Pour le fioul lourd, le facteur d'émission est de 106 g/GJ et pour le gazole de 104 g/GJ.

Pour l'essence, les facteurs d'émission qui dépendent de la motorisation et de la norme du moteur, sont les suivants (en g/GJ).

Motorisation	pre-control	stage I
2 temps	10 932	6 340
4 temps	19 341	7 909

**Emissions de NH3**

Le facteur d'émission utilisé est celui des bateaux de plaisance [1280]. Le facteur d'émission est de 0,175 g/GJ pour le fioul lourd et de 0,164 g/GJ pour le gazole.

Pour l'essence, les facteurs d'émission qui dépendent de la motorisation et de la norme du moteur, sont les suivants (en g/GJ).

Motorisation	pre-control	stage I
2 temps	0,068	0,068
4 temps	0,114	0,114

**Emissions de poussières totales en suspension et particules (TSP, PM<sub>xx</sub>)**

Le facteur d'émission dépend du type d'équipement, de sa charge elle-même variable selon les phases et du combustible. Les valeurs utilisées de sont issues du rapport d'étude sur les GES de l'OMI [1221]. Elles sont dépendantes du taux de soufre présent dans le carburant comme l'illustrent les formules ci-dessous.

$$FOL : EF_{e,PM_{10}} \left( \frac{g}{kWh} \right) = 1,35 + SFC_i * 7 * 0,02247 * (S - 0,0246) \quad (1)$$

$$DML : EF_{e,PM_{10}} \left( \frac{g}{kWh} \right) = 0,23 + SFC_i * 7 * 0,02247 * (S - 0,0024) \quad (2)$$

Avec :

- $SFC_i$  : Consommation spécifique de carburant en (g/kWh)

- S : Le taux de soufre

La conversion des émissions de g/kWh vers g/GJ est réalisée à partir des consommations spécifiques Tier II suivantes et issues de [1280] :

Motorisation	Carburant	SFOC (g/kWh)
moteur diesel à haute vitesse (HSD)	Fioul lourd	234
moteur diesel à moyenne vitesse (MSD)	Fioul lourd	202
moteur diesel à haute vitesse (HSD)	Gazole pêche	224
moteur diesel à moyenne vitesse (MSD)	Gazole pêche	193

Selon le guide méthodologique EMEP/EEA 2023 [1280], le total des poussières en suspension (TSP) est considéré comme étant composé à 100 % de particules ayant une taille inférieure à 10 micromètres et 85 % de particules ayant une taille inférieure à 2,5 micromètres. Pour l'essence, les facteurs d'émission des TSP en g/GJ, sont les suivants.

Motorisation	pre-control	stage I
2 temps	286	286
4 temps	4,27	4,27

Les PM<sub>1.0</sub>, quant à elles, se distribuent par rapport aux TSP à raison de 92% pour le diesel et le FOL. Cette hypothèse est issue du modèle d'émission COPERT de la section OMINIA\_1A3b\_road transport.

#### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Le facteur d'émission dépend du type d'équipement, de sa charge elle-même variable selon les phases et du combustible. L'élaboration d'un facteur d'émission de référence est réalisée selon les facteurs d'émissions ci-dessous.

Type moteur Diesel	Carburant	BC (g/GJ)*
Haute vitesse (HSD)	Fioul lourd	1,96
Moyenne vitesse (MSD)	Fioul lourd	2,26
Haute vitesse (HSD)	Gazole pêche	0,98
Moyenne vitesse (MSD)	Gazole pêche	1,14

Les facteurs d'émissions sont donnés pour un taux de soufre de 1,42 et 0,09% pour le fioul lourd et le gazole respectivement.

Dans un second temps, le facteur d'émission de BC est corrigé en fonction de la teneur en soufre du carburant en conservant la tendance observée dans [1222].

Concernant les motorisations essence, le facteur d'émissions de BC est établi à partir d'un ratio de PM<sub>2.5</sub>, à savoir 5 %.

Emissions de métaux lourds (ML)

Pour la combustion, les facteurs d'émission des métaux lourds sont issus de la section générale OMINEA\_1A\_fuel emission factor pour le gazole, l'huile et l'essence. En revanche, pour le fioul lourd, les facteurs d'émissions proviennent de [1280] et sont les suivants :

Métal lourd	FE (mg/GJ)
As	17,00
Cd	0,50
Cr	18,00
Cu	31,25
Hg	0,50
Ni	800
Pb	4,50
Se	5,25
Zn	30,00

#### Emissions de dioxines et furannes (PCDD-F)

Les émissions sont déterminées à partir des facteurs d'émission spécifiques aux combustibles [341] : 11,7 ng/GJ pour le fioul lourd, 2,92 ng/GJ pour le gazole et 0,455 ng/GJ pour l'essence.

#### Emissions d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les émissions de chacun des HAP concernés sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années. Du fait que les facteurs d'émission des HAP ne sont pas estimés pour la pêche ni le maritime dans son ensemble dans le guide EMEP/EEA, ceux du transport routier [1281] sont utilisés à défaut.

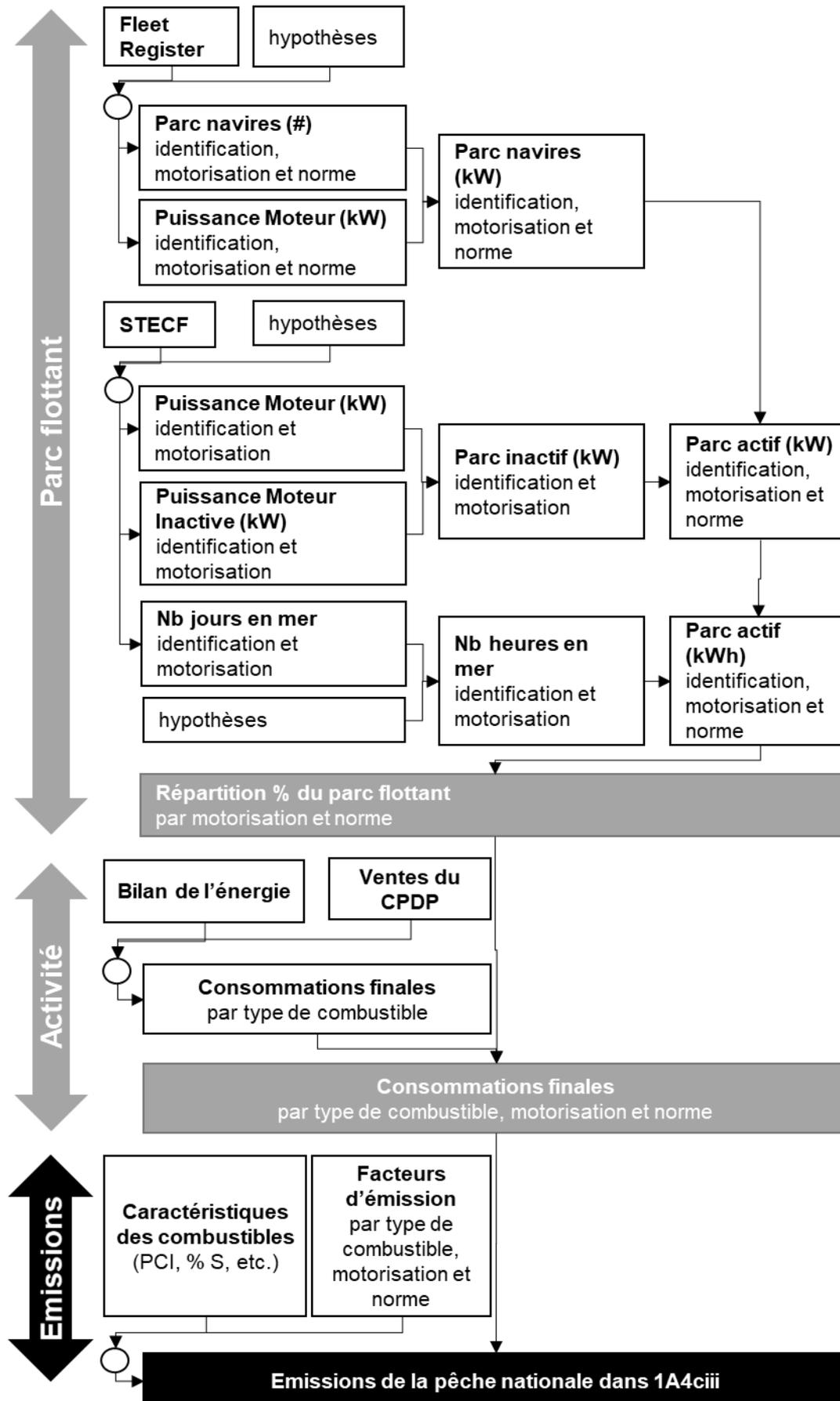
#### Emissions de polychlorobiphényles (PCB)

Les émissions de PCB sont supposées négligeables pour l'essence. Pour les autres combustibles, les émissions sont déterminées à partir de la référence [341] : 14 µg/GJ pour le Fioul lourd et 8,76 µg/GJ pour le gazole.

#### Emissions d'hexachlorobenzène (HCB)

Les émissions sont déterminées à partir des facteurs d'émission spécifiques aux combustibles [341] : 1,95 µg/GJ pour le Fioul lourd et le gazole. Pour l'essence, le facteur d'émission évolue en fonction du temps.

## Logigramme du processus d'estimation des émissions



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
19/01/2024	BC/JMA	13/02/2024	JV/JPC

## NON SPECIFIE - SOURCES FIXES

Cette section concerne les émissions des installations de combustion fixes liées à d'autres usages y compris les activités militaires. Les émissions des installations mobiles (cf. 1A5b) sont également comptabilisées dans ce secteur pour des raisons de confidentialité.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.5.a
CEE-NU / NFR	1.A.5.a
SNAPc (extension CITEPA)	02.01.06 et 08.10.01
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bilan national de l'énergie	Valeurs nationales ou valeurs par défaut

### Niveau de méthode :

CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O : Rang 1/2 (voir en fonction des cas dans le texte)

### Références utilisées :

- [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
- [355] PNUE - Outil spécialisé (Toolkit) pour l'identification et la quantification des rejets de dioxine et furanes, Février 2005
- [573] Tinus et al. - Atmospheric Environment 61, 2012, 641-651
- [638] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - section I.8 - table 1- 4 (CO<sub>2</sub>) ; Volume 2 - tables 2.2, 2.3, 2.4 et 2.5 (CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O)
- [1112] Panorama du gaz renouvelable - Publication annuelle - GRDF, GRTgaz, Syndicat des énergies renouvelables, SPEGNN, Teréga
- [1128] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1a4 Non-road mobile sources and machinery - Table 3-1, EF Tier 1
- [1134] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.3.b.i-iv Road transport
- [1273] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.4 Small combustion, tables 3-8 / 3-9 pour FE BC

## Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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 : consommation d'essence (EMNR), de kérosène et d'essence aviation.

Par souci de confidentialité, toutes les consommations et émissions du 1A5b sont incluses dans le 1A5a.

## Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Les consommations prises en compte ici sont celles intégrées dans le secteur « Autres non spécifiés » du bilan énergétique national [1]. Ces consommations concernent du fioul lourd, du fioul domestique, du gaz naturel, du gaz de pétrole liquéfié, du kérosène et de l'essence aviation.

Aucune consommation n'est considérée pour l'Outre-mer.

La part de biométhane consommée est retranchée de la consommation de gaz naturel à partir des données du bilan énergétique national annuel [1] et des publications annuelles du panorama du gaz renouvelable [1112].

Pour certains combustibles, il est possible d'attribuer les consommations aux sources fixes (chaudières, moteurs, etc...) ou aux sources mobiles.

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].

Répartition des consommations par phase de l'aviation	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
LTO	23%	20%	19%	19%	19%	18%	16%	17%	17%
Croisière	77%	80%	81%	81%	81%	82%	84%	83%	83%

A ces consommations sont appliqués les facteurs d'émission moyens de l'aviation civile de la métropole par type de phase et par combustible.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

#### Sources fixes

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont déterminées au moyen de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie) ou par défaut et issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

#### Sources mobiles

EMNR : Les émissions de CO<sub>2</sub> sont déterminées au moyen de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie) ou par défaut et issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

Aviation : cf. 1.A.3.a

### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

#### Sources fixes

Les émissions de CH<sub>4</sub> sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

#### Sources mobiles

EMNR : Les émissions de CH<sub>4</sub> 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 N<sub>2</sub>O**

#### Sources fixes

Les émissions de N<sub>2</sub>O sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

#### Sources mobiles

EMNR : Les émissions de N<sub>2</sub>O 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 Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

#### Sources fixes

Les émissions de SO<sub>2</sub> sont déterminées à partir de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie).

#### Sources mobiles

EMNR : Les émissions de SO<sub>2</sub> sont déterminées à partir de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie).

Aviation : cf. 1.A.3.a

### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

#### Sources fixes

Les émissions de NO<sub>x</sub> sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

#### Sources mobiles

EMNR : Les émissions de NO<sub>x</sub> 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 COVNM***

#### Sources fixes

Les émissions de COVNM sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

#### Sources mobiles

Les émissions de COVNM 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 CO***

#### Sources fixes

Les émissions de CO sont en général faibles et estimées au moyen de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

#### Sources mobiles

Les émissions de CO 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 NH<sub>3</sub>***

#### Sources fixes

Aucune émission de NH<sub>3</sub> n'est attendue pour la combustion fixe des combustibles consommés dans ce secteur.

#### Sources mobiles

Les émissions de NH<sub>3</sub> 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).

Ce polluant n'est pas estimé dans l'aviation.

### ***Emissions de poussières totales en suspension (TSP)***

#### Sources fixes

Les émissions de TSP sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible présentés dans la section générale énergie.

## Sources mobiles

Les émissions de TSP 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 $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ , $PM_{1.0}$**

#### Sources fixes

La granulométrie est obtenue en appliquant des profils granulométriques moyens par combustibles, et techniques de dépoussiérage et l'hypothèse suivante, identique à celle prise pour le secteur tertiaire et concernant les installations de puissance inférieure à 50 MW.

Les profils granulométriques moyens par combustible sont présentés dans la section générale énergie.

#### Sources mobiles

Les émissions de  $PM_{10}$ , de  $PM_{2.5}$  et de  $PM_{1.0}$  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 carbone suie / black carbon (BC)**

#### Sources fixes

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de  $PM_{2.5}$ . Ce ratio provient de la référence [1273].

Les ratios retenus sont identiques à ceux pris pour le secteur tertiaire concernant les installations de puissance inférieure à 50 MW :

- 56% pour les combustibles liquides,
- 4% pour les combustibles gazeux.

#### Sources mobiles

Les émissions de BC 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

### **Métaux lourds (ML)**

#### Sources fixes

Les émissions de l'ensemble des métaux lourds sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

#### Sources mobiles

Les émissions de métaux lourds sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission issus d'une étude spécifique [573] valable vue la nature du carburant (essence) et le type d'engin (4 temps).

Aviation : seul les émissions de plomb sont estimées. cf. 1.A.3.a

### ***Dioxines et furannes (PCDD-F)***

Sources fixes

Les émissions de dioxines/furannes sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible présentés dans la section générale énergie.

Sources mobiles

Les émissions de dioxines/furannes sont déterminées à partir de facteurs d'émission relatifs à la nature du carburant (essence) et au type d'engin (4 temps) [355].

Ce polluant n'est pas estimé dans l'aviation.

### ***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Au sens de la CEE-NU, les HAP regroupent les quatre substances suivantes : benzo(a)pyrène (BaP), benzo(b)fluoranthène (BbF), benzo(k)fluoranthène (BkF) et indéno(123-cd)pyrène (IndPy).

Sources fixes

Les émissions de chacun des HAP concernés sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible présentés dans la section générale énergie.

Sources mobiles

Le calcul des émissions fait intervenir de multiples hypothèses sur la nature des équipements et leur utilisation. Les facteurs d'émission des HAP de l'essence proviennent de COPERT 4 [1134].

Ce polluant n'est pas estimé dans l'aviation.

### ***Polychlorobiphényles (PCB)***

Sources fixes

Les émissions de PCB sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

Sources mobiles

Les émissions de PCB liées à la combustion d'essence dans les sources mobiles sont considérées comme nulles ou négligeables.

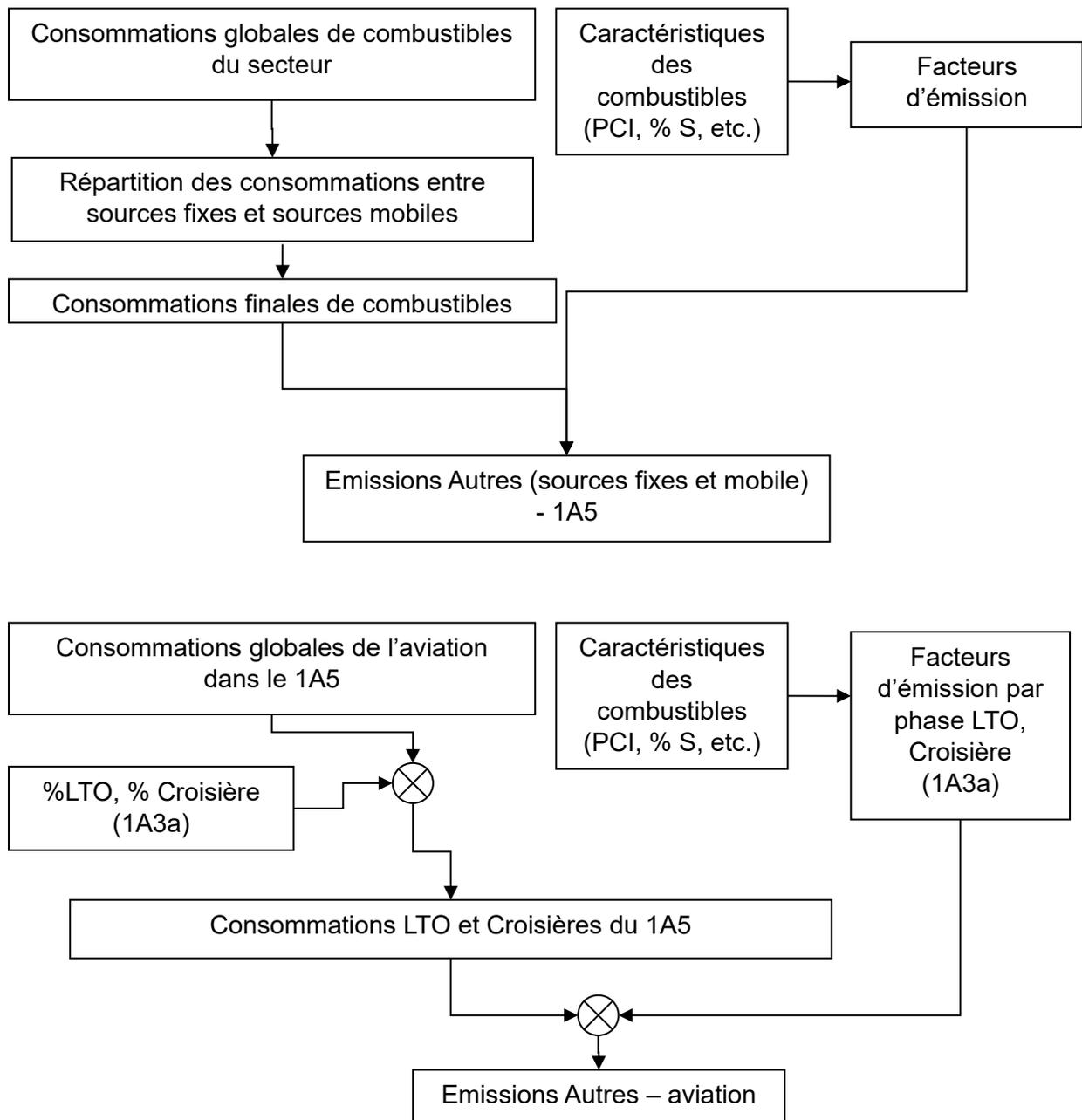
Ce polluant n'est pas estimé dans l'aviation.

### ***Hexachlorobenzène (HCB)***

Les émissions de HCB sont déterminées à partir de facteurs d'émission moyens par combustible (cf. section générale énergie).

Ce polluant n'est pas estimé dans l'aviation.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
11/01/2023	BC	14/02/2023	JV/JPC

## NON SPECIFIE - SOURCES MOBILES

Cette section concerne les émissions des installations de combustion mobiles liées à d'autres usages y compris les activités militaires.

Les émissions de polluants de la plaisance sont également comptabilisées dans ce secteur. Cependant la méthodologie associée est présentée dans le chapitre couvrant la navigation et la plaisance.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.A.5.b
CEE-NU / NFR	1.A.5.b
SNAPc (extension Citepa)	02.01.06, 08.10.01 et 08.03.02
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Par souci de confidentialité, les consommations et émissions des activités mobiles militaires sont incluses dans le 1A5a au lieu du 1A5b.

## Emissions fugitives

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
24/01/2023	BM	28/01/2023	JV

## EXTRACTION DU CHARBON

Cette section se rapporte aux activités liées à l'extraction du charbon et de sa mise à disposition aux consommateurs à l'exclusion des phénomènes de combustion qui peuvent y être associés.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.B.1.a et 1.B.1.c
CEE-NU / NFR	1.B.1.a
SNAPc (extension CITEPA)	05.01.01 à 05.01.03
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up basé sur les données par site	Spécifiques aux sites pour le CH <sub>4</sub> , par défaut pour les particules et les COVNM

### Niveau de méthode :

Rang 2 ou 3 pour la période d'activité extractive (jusqu'en 2004), 2 pour la période après mine à compter de 2005

### Références utilisées :

- [1] SDES (SOeS et anciennement Observatoire de l'Energie) - bilans de l'Energie français (données non corrigées du climat). Communication annuelle
- [49] TNO - Etude CEPMEIP relative aux émissions de particules, 2001
- [52] Charbonnages de France - Statistique charbonnière annuelle
- [159] Charbonnages de France - données internes sur les émissions de CH<sub>4</sub>, multi annuel
- [160] INERIS, Evaluation des quantités de méthane rejetées dans l'atmosphère par les mines françaises de charbon et de lignite, décembre 1991
- [377] BRGM/DPSM - Bilan méthane après-mines dans les bassins houillers français à partir de 2004, multi annuel
- [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, table 3-3 et table 3-6

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

L'activité minière est à l'origine d'émissions de méthane (composant majoritaire du gaz de mine ou grisou), de COVNM (composants minoritaires du gaz de mine ou grisou) et de particules (manutention et envols lors du stockage et du transport).

Les rejets de gaz de mine 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.

La formation du CH<sub>4</sub> et des COVNM 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 mais se réduisent progressivement et sont considérées négligeables pour les COVNM.

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.

Le charbon importé est supposé avoir totalement dégazé avant d'arriver sur le territoire. Par conséquent, des émissions de CH<sub>4</sub> et COVNM supplémentaires ne sont pas prises en compte. Cependant, les émissions de particules issues de la manutention du charbon importé et en sorti des mines sont estimées sur les sites qui consomment le charbon.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Période pré-2004

Les hypothèses suivantes sont faites :

Le charbon importé a dégazé en totalité avant de parvenir sur le territoire national. Il est en effet impossible de connaître le temps de séjour de ce charbon hors de France. Cette hypothèse est minorante en valeur absolue mais préserve actuellement les engagements nationaux de limitation et de réduction des émissions dans la mesure où les quantités de charbon consommées se réduisent au fil des années. En effet, la baisse des émissions qui en résulterait n'est pas prise en compte.

Le charbon produit en France dégaze en totalité avant de parvenir à l'utilisateur. En conséquence, aucune émission de CH<sub>4</sub> liée au stockage et à la manutention n'est affectée aux secteurs consommateurs. Les émissions sont géographiquement attachées aux sites miniers. Cette hypothèse a un impact d'autant plus faible que l'on considère une année proche de 2004, date à laquelle toute activité d'extraction a cessé. Les données de base exploitées pour cette partie proviennent d'une étude réalisée par l'INERIS [160].

L'activité étant connue par site, la spatialisation des émissions est relativement aisée, bien que les émissions diffuses puissent être de fait moins précisément localisées.

Les émissions de CH<sub>4</sub> 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).

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### ***Emissions de COVNM***

Période pré-2004

Les hypothèses suivantes sont faites :

Le charbon importé a dégazé en totalité avant de parvenir sur le territoire national.

Le charbon produit en France dégaze en totalité avant de parvenir à l'utilisateur. En conséquence, aucune émission de COVNM liée au stockage et à la manutention n'est affectée aux secteurs consommateurs.

Les émissions sont calculées à partir de la production nationale (en distinguant les mines ouvertes et souterraines), s'arrêtant en 2004, et de facteurs d'émission provenant du guide EMEP 2016 [1187].

Période post 2004

Les émissions de COVNM sont considérées négligeable lorsque les mines ne sont plus en activité, dès lors aucune émission n'est prise en compte après 2004.

#### ***Emissions de poussières totales en suspension (TSP)***

Les rejets de particules proviennent de la manutention des produits et des envols lors du stockage et du transport.

Contrairement au méthane, les émissions de particules sont, en première approximation, indépendantes du type de mine. Les nombreux éléments pouvant intervenir dans les phénomènes émissifs excluent une modélisation précise surtout a posteriori. Les facteurs d'émission utilisés proviennent de la littérature [49] et de dires d'experts.

Les émissions de particules issues de la manutention du charbon au niveau des sites consommateurs sont également estimées sur la base de la consommation nationale (incluant les importations et d'un facteur d'émission du guide EMEP 2019).

### **Emissions de PM10, PM2,5, PM1,0**

Le facteur d'émission PM<sub>10</sub> est identique à celui des TSP par suite des hypothèses retenues sur la granulométrie des particules.

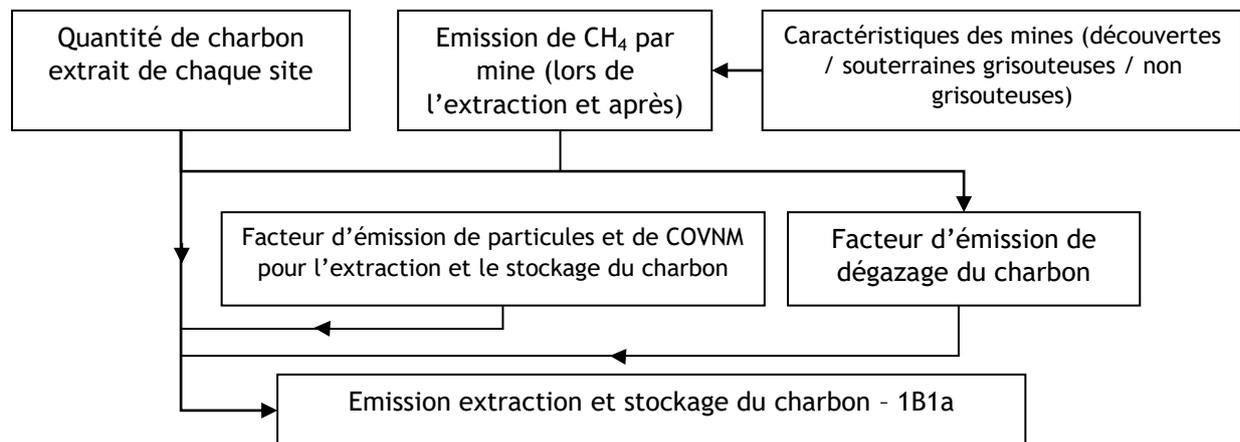
Les émissions de particules au sein des mines d'extraction de charbon sont nulles depuis l'arrêt de l'exploitation des mines françaises en avril 2004.

Néanmoins, des émissions de particules issues de la manutention du charbon au niveau des sites consommateurs sont estimées sur la base de la consommation nationale [1] (incluant les importations) et d'un facteur d'émission du guide EMEP 2019 [1187].

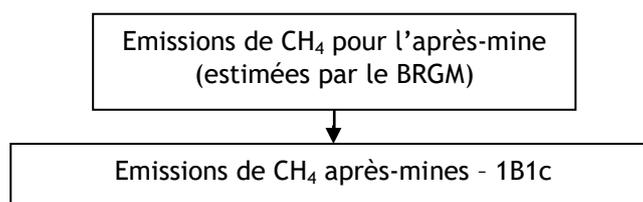
### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

La part du BC dans les émissions de PM<sub>2,5</sub> est estimée à 10%.

### Logigramme du processus d'estimation des émissions pour la période pré-2004.



### Logigramme du processus d'estimation des émissions pour la période post-2004.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
08/02/2024	CJ	13/02/2024	JV

## TRANSFORMATION DES COMBUSTIBLES MINERAUX SOLIDES

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 ».

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.B.1.b
CEE-NU / NFR	1.B.1.b
SNAPc (extension CITEPA)	04.02.01
CE / directive IED	1.3
CE / E-PRTR	1d
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production nationale	Valeurs déterminées à partir des déclarations annuelles des exploitants

### Niveau de méthode :

Non défini par le GIEC / Rang EMEP 3

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [27] Fédération française de l'Acier (FFA) / A3M (Alliance des Minerais, Minéraux et Métaux) - Données internes (jusqu'en 2013)
- [52] Charbonnages de France - Statistique charbonnière annuelle
- [53] SESSI - Bulletin mensuel de statistique industrielle
- [162] LECES Evolution des métaux lourds et composés organiques persistants en sidérurgie, 1996
- [163] UK fine particulate - Emissions from industrial processes, août 2000
- [626] EMEP/EEA Emission inventory guidebook - Edition 2013 - Chapter 1.B.1.b Fugitive emissions from solid fuels; solid fuel transformation, Section 3.2.2, table 3-1 Tier 1 emission factors
- [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

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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

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

Il n'existe plus de cokerie minière en France depuis fin 2009. Trois cokeries sidérurgiques (i.e. au sein des sites intégrés de fabrication d'acier) existaient jusqu'en mai 2020 en France. A partir de 2021, seules deux cokeries sidérurgiques sont recensées.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Les statistiques de production sont connues selon les années, soit par installation, soit par sous-ensemble sectoriel [19][27][52][53].

Les émissions sont estimées au moyen de facteurs d'émission issus des déclarations et des données communiquées par la fédération professionnelle du secteur [19][27] pour les cokeries sidérurgiques. Ces facteurs sont ensuite appliqués à l'ensemble de la production de coke (minier et sidérurgique).

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Pas d'émission attendue.

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

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.

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Pas d'émission attendue.

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Pas d'émission attendue.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Compte tenu des émissions déclarées par les sites pour les unités de production de coke sans distinction entre les émissions liées à la combustion et celles liées au procédé, les émissions de SO<sub>2</sub> du 1B1b sont incluses dans le secteur 1A1c\_solid fuel transformation avec les émissions liées à la combustion.

#### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Compte tenu des émissions déclarées par les sites pour les unités de production de coke sans distinction entre les émissions liées à la combustion et celles liées au procédé, les émissions de NO<sub>x</sub> du 1B1b sont incluses dans le secteur 1A1c\_solid fuel transformation avec les émissions liées à la combustion.

### ***Emissions de COVNM***

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.

### ***Emissions de CO***

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.

### ***Emissions de NH<sub>3</sub>***

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont estimées à partir de la production annuelle de coke [19][27][52][53] et du facteur d'émission par défaut (Tier 1) issu du Guidebook EMEP/EEA sur les inventaires d'émissions de polluants [767] pour toute la série temporelle.

### ***Emissions de poussières totales en suspension (TSP)***

Les déclarations annuelles des sites [19] et les 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. De plus, des données du LECES pour l'année 1994 [162] permettent de définir le facteur d'émission de cette année. Avant 1994, le facteur d'émission de 1994 est reporté. Entre 1994 et 2006, sa valeur est interpolée.

### ***Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>***

La répartition granulométrique utilisée pour l'année 1990 provient d'une étude britannique [163], dans laquelle les facteurs d'émission retenus correspondent à une moyenne entre différents procédés de fabrication. Cependant, au cours de la période 1990-2010, de nombreuses améliorations des systèmes de filtration ont été mises en place progressivement sur les sites, réduisant significativement la part des émissions des particules les plus grosses. A la faveur de campagnes de mesures récentes menées sur les sites sidérurgiques [27], la granulométrie a été interpolée entre la valeur de 1990 et celle issue de ces campagnes de mesures, appliquée à partir de 2010. A partir de 2021, les déclarations d'émissions de PM<sub>10</sub> sont directement utilisées. Ainsi la granulométrie des PM<sub>10</sub> est calculée grâce aux émissions de TSP déclarées et des émissions de PM<sub>10</sub>. La granulométrie des émissions de PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>1,0</sub> est ainsi recalculée sur la base de la granulométrie des PM<sub>10</sub> et appliquée aux émissions de TSP.

### ***Emissions de carbone suie / black carbon (BC)***

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA sur les inventaires d'émissions de polluants [767].

### ***Métaux lourds (ML)***

Les déclarations annuelles [19] sont utilisées pour calculer les facteurs d'émission des métaux lourds à partir de 2010. Les émissions liées à l'utilisation de combustibles répertoriées en 1A1c sont ensuite retranchées aux émissions totales déclarées par les sites afin d'estimer les émissions à allouer au procédé 1B1b. Pour les années antérieures, un facteur d'émission moyen calculé sur la période 2010-2013 est appliqué.

***Dioxines et furannes (PCDD-F)***

Le facteur d'émission est issu du Guidebook EMEP/EEA [626] et est appliqué pour toutes les années.

***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Les facteurs d'émission relatifs aux HAPs sont issus des données de spéciation obtenues auprès des sites pour les années 2011 et 2012 [27]. Le FE moyen de ces deux années est appliqué à toute la période.

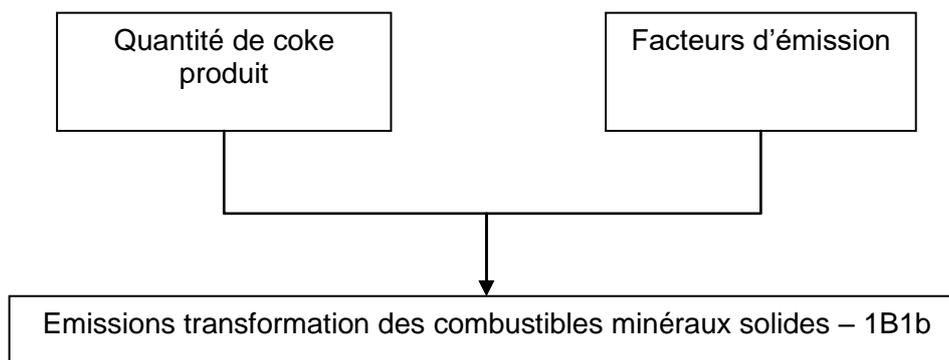
***Polychlorobiphényles (PCB)***

Pas d'émission attendue.

***Hexachlorobenzène (HCB)***

Pas d'émission attendue.

Logigrammes du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
14/01/2022	BM	31/01/2022	JV

## EXTRACTION, EXPLORATION ET TRANSPORT DES COMBUSTIBLES FOSSILES LIQUIDES

Cette section traite de l'extraction et du transport de pétrole brut. Plus particulièrement, les émissions liées à cette activité regroupent les émissions liées à l'exploitation des gisements de pétrole, le transport par pipeline et camions/wagons-citernes depuis ces gisements ainsi que le stockage de pétrole brut dans les terminaux pétroliers. Les activités situées en aval (raffinage, distribution de produits finis, etc.) sont traitées dans les sections appropriées.

Les émissions liées à l'exploration sont également estimées.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.B.2.a.i, ii et iii
CEE-NU / NFR	1.B.2.a.i
SNAPc (extension CITEPA)	05.02.01 et 05.02.02
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production nationale (répartition connue par bassin) Quantité de pétrole brut importé Quantité de pétrole brut transporté par pipeline vs. camion-citerne	Valeurs calculées à partir de données de la littérature

### Niveau de méthode :

Rang 1

### Références utilisées :

[13] UFIP - Données internes

[14] CPDP - Pétrole (publication annuelle)

[627] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 4, Fugitive emissions, Table 4.2.4, p4.50

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

L'extraction de pétrole brut est une activité très réduite en France. La production nationale a fortement diminué entre 1990 et 2000 (-7% par an en moyenne) et 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.

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 polluants.

Le transport de pétrole brut depuis les sites de production en France est assuré par pipeline et camion-citerne.

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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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).

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 existent, 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).

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

Les émissions de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, COVNM sont estimées au moyen de facteurs d'émission par défaut. Les émissions d'autres substances (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, PM, etc.) sont estimées négligeables.

L'activité de production étant connue par site, la spatialisation des émissions par bassin est relativement aisée, mais les émissions sont plus difficiles à allouer à des échelles géographiques très fines.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O**

##### Exploration de pétrole

L'exploration de pétrole engendre des émissions de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub> provenant de l'ouverture des puits (Well drilling), des essais (Well testing) et de la préparation des puits (Well servicing). La méthode de calcul des émissions est basée directement sur la production nationale de pétrole [14]. Les facteurs d'émission utilisés sont ceux donnés par défaut pour les pays développés dans les Lignes directrices du GIEC 2006 [627].

Les facteurs d'émission étant exprimés en Gg / 1000 m<sup>3</sup> dans les lignes directrices du GIEC 2006, ils peuvent être convertis en kg/Mg à partir de la masse volumique (0,86 Mg/m<sup>3</sup>).

##### Transport de pétrole brut

Les émissions de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub> survenant lors du transport de pétrole brut (PIP, CIT) sont calculées et déterminées à partir des facteurs d'émission par défaut du GIEC [627], de la quantité de pétrole brut transportée par pipeline en France (PIP) et de la production nationale de pétrole brut transportée par camion-citerne (CIT).

Les facteurs d'émission pour le transport par pipeline et camion-citerne étant indiqués en Gg / 1000 m<sup>3</sup> dans les lignes directrices du GIEC 2006, ils peuvent être convertis en kg/Mg à partir de la masse volumique (0,86 Mg/m<sup>3</sup>).

Cette activité n'est pas émettrice de N<sub>2</sub>O.

##### Extraction de pétrole brut

Pour l'extraction (FUG et VEN), les lignes directrices du GIEC 2006 donnent des facteurs d'émission pour le CH<sub>4</sub> et le CO<sub>2</sub> concernant la ventilation (« venting », VEN) mais seul un facteur d'émission pour le CO<sub>2</sub> est fourni pour les émissions fugitives (FUG). Le ratio CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> a été calculé à partir des facteurs d'émission de la ventilation (« venting », VEN) et est utilisé pour déterminer le facteur d'émission du CH<sub>4</sub> fugitif (FUG) [627].

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	Ratio CH <sub>4</sub> /CO <sub>2</sub>
Facteur d'émission extraction - VEN (Gg/1000 m <sup>3</sup> )	9,5E-05	7,2E-04	7,58E+00
Facteur d'émission extraction - FUG (Gg/1000 m <sup>3</sup> )	2,6E-04	1,97E-03	

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

Les facteurs d'émission étant indiqués en Gg / 1000 m<sup>3</sup> dans les lignes directrices du GIEC 2006, ils peuvent être convertis en kg/Mg à partir de la masse volumique (0,86 Mg/m<sup>3</sup>).

Cette activité n'est pas émettrice de N<sub>2</sub>O.

Les émissions qui proviennent du torchage sur le site de production sont incluses en section 1B2c.

### Stockage de pétrole brut

Les émissions de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub> liées au déchargement et stockage de pétrole brut dans les terminaux pétroliers (BRT) sont estimées grâce à une méthodologie mise en place en collaboration avec des experts du secteur pétrolier [13]. Cette méthodologie, basée sur les émissions de COVNM, tient compte notamment des caractéristiques techniques de stockage des bacs (Toits fixes vs toits flottants, volume de stockage...). Le ratio de conversion utilisé entre le facteur d'émission des COVNM et celui du CO<sub>2</sub> et du CH<sub>4</sub> est le même que pour l'activité de transport de pétrole brut par pipelines [627] :

	COVNM	CO <sub>2</sub>	Ratio CO <sub>2</sub> /COVNM	CH <sub>4</sub>	Ratio CH <sub>4</sub> /COVNM
Facteur d'émission transport pipeline (Gg/1000 m <sup>3</sup> )	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 <sup>1</sup> (g/Mg)	7,44E+00	6,75E-02		7,44E-01	

<sup>1</sup> exemple pour les facteurs d'émission en 1960, ceux-ci évoluent au cours de la série temporelle, mais pas les ratios.

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

Cette activité n'est pas émettrice de N<sub>2</sub>O.

### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de ces activités.

### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

Seules les émissions de COVNM sont estimées pour cette activité, car pour les quelques autres polluants attendus (SO<sub>x</sub>, PCDD-F), les émissions sont considérées marginales et aucun facteur d'émission n'a pu être identifié dans la littérature.

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions attendues de ces substances lors de ces activités sont considérées marginales et aucun facteur d'émission n'a pu être identifié dans la littérature.

### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de ces activités.

### **Emissions de COVNM**

#### Exploration de pétrole

L'exploration de pétrole engendre des émissions de COVNM lors 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 indiqués en Gg / 1000 m<sup>3</sup> dans les lignes directrices du GIEC 2006, ils peuvent être convertis en kg/Mg à partir de la masse volumique (0,86 Mg/m<sup>3</sup>).

#### Transport de pétrole brut

Les émissions liées au transport par pipeline et camion-citerne sont estimées 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 étant indiqués en Gg / 1000 m<sup>3</sup> dans les lignes directrices du GIEC 2006, ils peuvent être convertis en kg/Mg à partir de la masse volumique (0,86 Mg/m<sup>3</sup>).

#### Extraction de pétrole brut

Les émissions de COVNM survenant lors de l'extraction des combustibles fossiles liquides (FUG, VEN) sont calculées et déterminées à partir des facteurs d'émission par défaut du GIEC [627]. Seul le FE des COVNM pour la ventilation (« venting », VEN) est fourni par le GIEC. Le ratio CO<sub>2</sub>/COVNM a été calculé à partir des facteurs d'émission de la ventilation (« venting », VEN) et est utilisé pour déterminer le facteur d'émission des COVNM fugitifs (FUG) [627].

	CO <sub>2</sub>	COVNM	Ratio COVNM/ CO <sub>2</sub>
Facteur d'émission extraction - VEN (Gg/1000 m <sup>3</sup> )	9,5E-05	4,30E-04	4,53E+00
Facteur d'émission extraction - FUG (Gg/1000 m <sup>3</sup> )	2,6E-04	1,18E-03	

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

#### Stockage de pétrole brut

Les émissions liées au déchargement et stockage de pétrole brut dans les terminaux pétroliers sont estimées grâce à une méthodologie mise en place en collaboration avec des experts du secteur pétrolier [13]. Cette méthodologie tient compte notamment des caractéristiques techniques de stockage des bacs (Toits fixes vs toits flottants, Volume de stockage...) ainsi que de l'implémentation de la réglementation nationale relative à la lutte contre les émissions de COVNM provenant des activités de stockage.

#### **Emissions de CO**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de ces activités.

#### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de ces activités.

#### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de ces activités.

#### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de ces activités.

#### **Métaux lourds (ML)**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de ces activités.

#### **Dioxines et furannes (PCDD-F)**

Les émissions attendues de ces substances lors de ces activités sont considérées marginales et aucun facteur d'émission n'a pu être identifié dans la littérature.

#### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

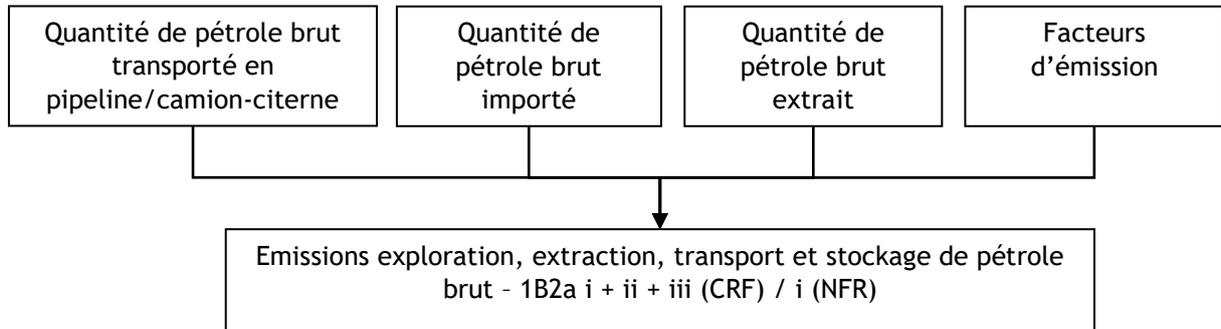
Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de ces activités.

**Polychlorobiphényles (PCB)**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de ces activités.

**Hexachlorobenzène (HCB)**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de ces activités.

**Logigramme du processus d'estimation des émissions.**

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
24/01/2023	BM	28/01/2023	JV

## TRANSPORT ET DISTRIBUTION DES PRODUITS PETROLIERS

Cette section s'intéresse, d'une part aux importations et exportations de produits pétroliers et, d'autre part, au stockage et aux opérations de chargement et de déchargement au cours de la chaîne de distribution des combustibles liquides (hors raffinerie).

Plus précisément, elle couvre :

- les émissions diffuses d'hydrocarbures lors des opérations de chargement, déchargement, stockage dans les terminaux pétroliers pour les produits pétroliers (hors pétrole brut),
- les émissions relatives au transport, à la manutention et aux dépôts de combustibles liquides en dehors des raffineries et des terminaux pétroliers (hors pétrole brut),
- l'approvisionnement des stations-service en essence et sa distribution aux véhicules.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.B.2.a.v
CEE-NU / NFR	1.B.2.a.v
SNAPc (extension CITEPA)	05.04.01, 05.04.02, 05.05.02 et 05.05.03
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Importations, exportations et livraisons nationales	Valeurs nationales selon produits et équipements

### Niveau de méthode :

Rang 1 et 2 (par analogie, la classification n'étant pas clairement définie)

### Références utilisées :

- [13] UFIP - Données internes
- [14] CPDP - Pétrole (publication annuelle)
- [69] INSTITUT D'EMISSION D'OUTRE-MER (IEOM) - Rapport annuel
- [167] MINEFI / DIMAH - données internes non publiées annuelles sur les bilans énergétiques des DOM et des TOM
- [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
- [330] CONCAWE - Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries, 2007
- [396] CONCAWE - Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries, 2009
- [972] Citepa - Emissions de COV issues des stations-service, 2007, p105 et p145
- [1063] Guidebook Corinair, part 6 - second edition - 1992, page 6
- [1188] EMEP / EEA 2019 - Section 1.B.2.a.v Distribution of oil products, table 3-10 et 3-11
- [1189] Guide EMEP/EEA 2019, 1.B.2.a.v Distribution of oil products, Table 3-15

## Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

### Méthode générale d'estimation des émissions :

#### Introduction

#### Méthodes à la Métropole (IIR)

##### ➤ Terminaux pétroliers

Les importations et les exportations de produits pétroliers sont connues quantitativement ainsi que les points d'entrée sur le territoire notamment les terminaux pétroliers [14, 69, 167, 179, 180].

L'activité pour les terminaux pétroliers est représentée par la somme des produits pétroliers importés et exportés (naphta, essence, carburéacteurs, en particulier).

Les produits pétroliers autres que ceux cités ci-dessus sont considérés comme très faiblement émetteurs de COVNM du fait de leurs très faibles tensions de vapeur.

➤ Distribution hors raffinerie et stations-service

Les opérations émettrices sont le stockage et le chargement / déchargement des produits pétroliers aux différentes étapes de la chaîne de transport et de distribution.

Les émissions de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) dépendent de divers paramètres (type de produit, type d'équipement, conditions météorologiques, etc.). Elles sont estimées à partir des quantités transférées [14].

Plusieurs dispositions réglementaires (arrêtés des 4 septembre 1986 et 8 décembre 1995) [169, 170] prévoient la mise en place de dispositifs visant à réduire les émissions et en particulier la mise en œuvre progressive du « stage I » dans les dépôts.

Les caractéristiques des dépôts quant à l'application des dispositions réglementaires et à leurs débits sont prises en compte [168]. La nature de certaines de ces informations impose l'application de règles de confidentialité.

L'activité fait l'objet d'un calcul spécifique et est constituée, d'une part, par les quantités transférées de FOL, FOD et gazole et, d'autre part, par l'essence et les carburateurs plus volatils.

➤ Stations-service

Les émissions visées dans cette partie concernent les refoulements aux événements des cuves lors des approvisionnements et le refoulement des vapeurs contenues dans les réservoirs des véhicules lors du remplissage de ces derniers.

Seule l'essence automobile est prise en compte car le gazole est beaucoup moins volatil, les autres essences et les carburateurs étant distribués différemment. Le GPLc est également négligé, les quantités en jeu sont par ailleurs marginales.

La mise en place de dispositifs de limitation des rejets notamment « stage I » et « stage II » en application de la réglementation [170, 172] au cours du temps et en fonction des caractéristiques des stations est prise en compte dans le calcul des émissions basé sur les quantités d'essence distribuées par catégorie (taille) de stations [14].

## Méthodes pour l'Outre-mer (PI)

➤ Terminaux pétroliers

La même méthodologie que pour la métropole est employée ici. La difficulté pour l'outre-mer réside dans la disponibilité des données d'activités. La consommation de chacune des îles est assimilée à la quantité de produits pétroliers importée [69]. L'export de produits pétroliers est considéré comme nul pour les calculs de cette sous-section.

➤ Distribution hors raffinerie et stations-service

La même méthodologie que pour la métropole est employée.

➤ Stations-service

La même méthodologie et les mêmes données (mise en place des dispositifs de limitation des rejets « stage I » et « stage II ») que pour la métropole sont employées.

**Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

**Emissions de COVNM**

a/ Terminaux pétroliers

Les émissions de COVNM relatives au stockage et à la manipulation de produits pétroliers dans les terminaux sont estimées en prenant en compte :

- Les types de produits transitant dans les terminaux pétroliers (naphtas, essences, carburéacteurs, etc.),
- Les types de stockage (toit fixe, toit flottant, etc.),
- Les taux d'équipement relatifs à chaque type de stockage par type de produit [13],
- Les émissions liées au chargement des citernes routières et ferroviaires ainsi que des bateaux.

Les facteurs d'émission s'appuient sur les formules de l'arrêté de 1986 relatif aux stockages [169] et le guide du CONCAWE [396].

Le facteur d'émission global évolue annuellement en fonction des quantités relatives des différents produits stockés et transférés, de la température moyenne annuelle et de la mise en place progressive, entre 1998 et 2005, des équipements de récupération.

b/ Distribution hors raffinerie et stations-service

Les émissions de COVNM relatives au stockage et à la manipulation de produits pétroliers volatils (essences auto, avion, spéciales et carburéacteurs) sont estimées au moyen de facteurs d'émission qui prennent en compte la mise en œuvre progressive des dispositifs de réduction des émissions tel que le « stage I » (récupération des événements) imposés par la réglementation [168, 169, 170, 171].

La progressivité dans l'application de ces dispositions s'étend de 1986 à 2005.

Les facteurs d'émission de COVNM relatifs au stockage et à la manipulation de carburéacteurs (moins volatil que l'essence) sont considérés proportionnels (facteur de 70%) à ceux des produits pétroliers volatils de 1986 à 1998. A partir de 1998, le facteur d'émission est constant, car les effets de l'arrêté du 8 décembre 1995 se font sentir sur les émissions d'essence mais pas sur les dépôts de carburéacteurs qui sont en dehors du périmètre (combustible de l'aviation).

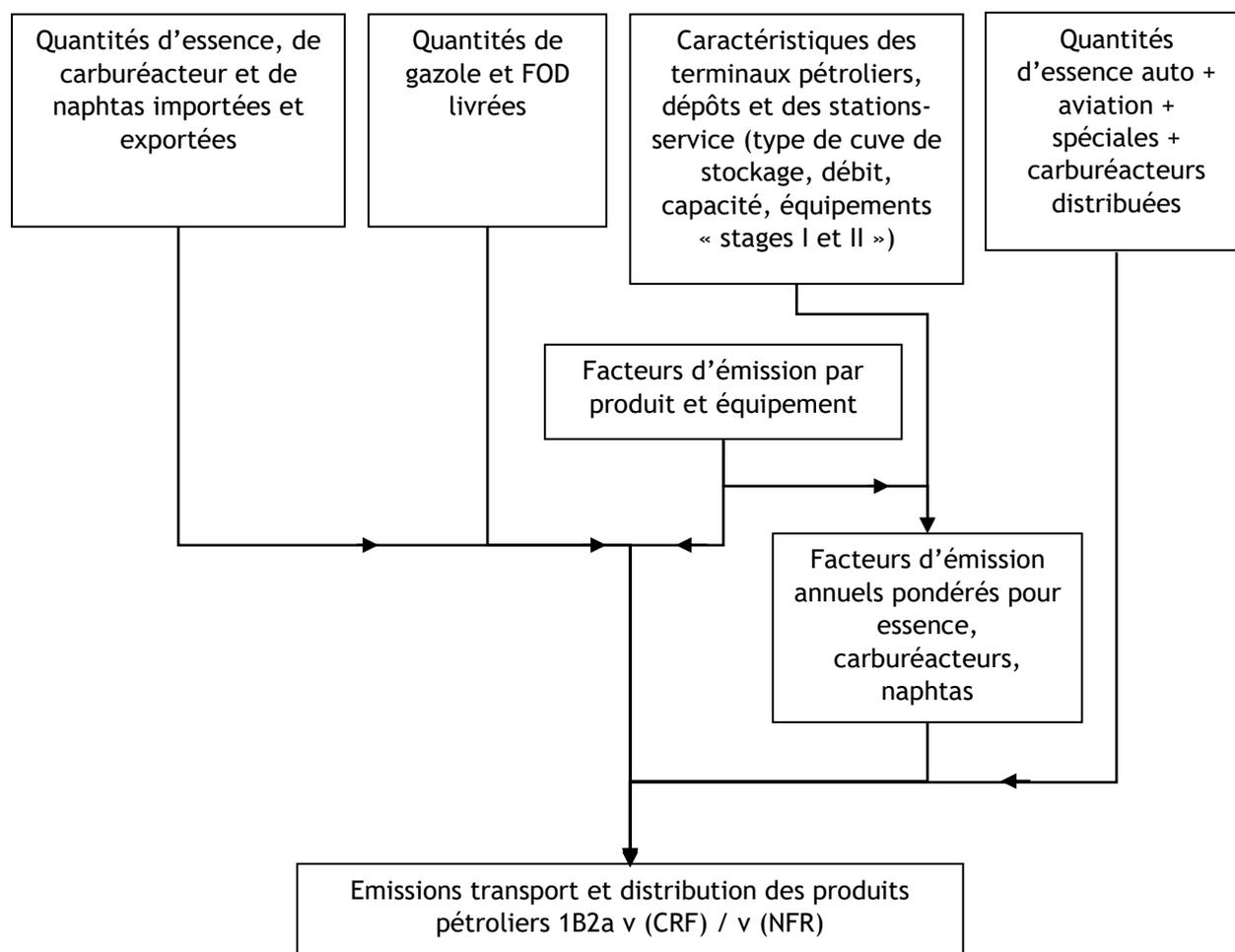
Les facteurs d'émission de COVNM relatifs au stockage et à la manipulation de produits pétroliers peu volatils (gazole, FOD, FOL) sont fournis par le Guidebook CORINAIR 1992 [1063]. Les FE sont considérés constants sur toute la série temporelle, car les réglementations ne concernent pas ce type de combustibles (peu volatils).

c/ Stations-service

Les émissions de COVNM relatives à la distribution d'essence dans les stations-service sont déterminées au moyen d'un facteur d'émission élaboré à partir de la structure des stations faisant intervenir la taille, le nombre et le débit des stations, ainsi que la proportion de stations équipées de dispositifs de récupération des vapeurs et l'efficacité des dits dispositifs, ces paramètres variant au cours du temps [170, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 972, 1188, 1189].

Le facteur d'émission de COVNM diminue au cours du temps grâce à la mise en place de dispositifs de limitation des rejets stage I et stage II mais également du fait qu'il y a de moins en moins de petites stations-service (non équipées d'un stage II) remplacées par quelques grandes stations-service (équipées d'un stage II).

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
24/01/2023	BM	28/01/2023	JV/JPC

## RAFFINAGE DU PETROLE

Cette section concerne uniquement les procédés dans le raffinage du pétrole brut ou de produits partiellement élaborés provenant d'autres raffineries. Les émissions issues des installations de combustion (i.e. chaudières, TAG, moteurs et fours) sont comptabilisées dans la section 1A1b\_petrol refining et celles relatives aux torchères 1B2c\_petrol refining.

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)
- La station d'expédition de produits pétroliers (SNAP 050501)

Les émissions liées au traitement des eaux industrielles en raffinerie sont considérées dans la section 5D\_waste water treatment.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.B.2.aiv, 1.B.2.av
CEE-NU / NFR	1.B.2.a
SNAPc (extension CITEPA)	04.01.01 à 04.01.05, 050501
CE / directive IED	1.2
CE / E-PRTR	1a
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up intégral (toutes les installations sont considérées individuellement)	Généralement spécifiques de chaque installation considérée individuellement concernant SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> et parfois COVNM, CO et PCDD-F. Valeurs par défaut pour les autres cas et les autres substances.

### Niveau de méthode :

Rangs 2 ou 3 selon les substances

### Références utilisées :

[14] CPDP - Pétrole (publication annuelle)

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[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

[169] Arrêté du 4 septembre 1986 relatif à la réduction des émissions atmosphériques d'hydrocarbures provenant des activités de stockage

[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

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Il y a actuellement 10 raffineries déclarant une activité en France dont une située en Martinique (territoire hors PTOM) et une récemment reconvertie en bioraffinerie (site de La Mède, dont la plateforme a vu en 2022 la création du nouveau site de bioraffinage Ecoslops).

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

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

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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

#### Introduction

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].

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> 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 par défaut (cf. section générale énergie) est appliquée.

Pour les autres procédés (SNAP 010405), les émissions proviennent directement des déclarations annuelles d'émissions [19].

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Des émissions de CH<sub>4</sub> 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.

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Des émissions de N<sub>2</sub>O 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.

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances pour les procédés considérés.

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Le SO<sub>2</sub> est émis au niveau de la régénération du craqueur catalytique et de l'unité Claus. Les émissions de ces procédés sont déterminées à partir du bilan soufre établi sur la base des consommations de combustibles et de leurs émissions de soufre déclarées chaque année en ce qui concerne l'unité Claus [19, 50]. Lorsqu'une valeur spécifique manque pour un paramètre donné, la valeur de l'année précédente ou une valeur d'une installation analogue est utilisée.

Pour les autres procédés (SNAP 040105), les émissions proviennent directement des déclarations annuelles d'émissions [19].

### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Les NO<sub>x</sub> sont émis au niveau de la régénération du craqueur catalytique. Les émissions sont le plus souvent déterminées à partir d'une mesure [19]. En l'absence de donnée certaines années, le facteur d'émission est recalculé à partir des années pour lesquelles des résultats de mesures sont disponibles. Pour les sites ne disposant d'aucune mesure sur l'ensemble de la période, le facteur spécifique calculé à partir des mesures de l'ensemble des autres sites peut être utilisé.

Depuis 2013, toutes les raffineries sont équipées d'une chaudière à CO.

Pour les autres procédés (SNAP 010405), les émissions proviennent directement des déclarations annuelles d'émissions [19].

### **Emissions de COVNM**

Les émissions les plus importantes proviennent des émissions fugitives, des postes de stockage, de manutention et d'expédition des produits pétroliers. Mais des COVNM sont aussi émis au niveau de la régénération du craqueur catalytique.

Les émissions fugitives sont, pour la plupart, déterminées à partir des déclarations annuelles d'émissions [19]. Lorsque la donnée n'est pas disponible, un taux d'émission de 0,005% du brut traité est considéré car les émissions fugitives sont fonction de la quantité de brut traité dans l'installation [48].

Les émissions liées au stockage et à la manutention sont calculées, dans les déclarations annuelles de rejet [19], à partir de l'arrêté du 4 septembre 1986 relatif à la réduction des émissions atmosphériques d'hydrocarbures provenant des activités de stockage [169] abrogé et remplacé par l'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 [466]. Ces arrêtés donnent les équations permettant de calculer les émissions fugitives en fonction du type de stockage installé sur le site (i.e. un réservoir à toit fixe, réservoir à toit flottant, etc.).

Les rejets des stations d'expédition sont déterminés à partir des déclarations annuelles [19].

Pour les trois postes ci-dessus, lorsque l'information n'est pas disponible, le facteur d'émission de l'année précédente est utilisé.

Les émissions de la régénération du craqueur catalytique sont en général faibles. Les émissions sont parfois déterminées à partir d'une mesure [19]. En l'absence de donnée

certaines années, le facteur d'émission est recalculé à partir des années pour lesquelles des résultats de mesures sont disponibles. Pour les sites ne disposant d'aucune mesure sur l'ensemble de la période, le facteur spécifique calculé à partir des mesures de l'ensemble des autres sites peut être utilisé.

Pour le site non équipé d'une chaudière à CO, le FE COVNM est environ 35 fois plus élevé. Cependant, depuis 2013, ce site s'étant équipé d'une chaudière à CO, les émissions sont réduites.

Pour les autres procédés (SNAP 010405), les émissions proviennent directement des déclarations annuelles d'émissions [19].

### ***Emissions de CO***

Les émissions proviennent en majorité de la régénération du craqueur catalytique : elles sont estimées, soit au moyen des déclarations annuelles [19], soit à partir d'un facteur d'émission recalculé sur les sites similaires (craqueurs catalytiques équipés d'une chaudière à CO).

Pour le site non équipé d'une chaudière à CO, le FE est beaucoup plus élevé (environ 300 fois plus élevé). Cependant, depuis 2013, ce site s'étant équipé d'une chaudière à CO, les émissions sont réduites.

### ***Emissions de NH3***

Il n'y a pas d'émissions attendues pour cette substance.

### ***Emissions de poussières totales en suspension (TSP)***

Parmi les activités traitées dans cette section, les particules sont seulement émises lors de la phase de régénération du craqueur catalytique.

#### **a/ Poussières totales en suspension**

Les émissions lors de la régénération des craqueurs catalytiques (avec chaudière à CO) sont calculées selon des approches différenciées en fonction des années et des sites :

- Pour les années récentes et pour les sites qui réalisent des mesures [19], la donnée est conservée et un facteur d'émission est recalculé. La moyenne des facteurs d'émission pour un site donné est appliquée pour les années où il n'y a pas d'information,
- Pour les sites pour lesquels il n'y a pas de mesure disponible, un facteur d'émission moyen est recalculé à partir des mesures des autres sites.

Pour le site sans chaudière à CO, le facteur d'émission mesuré par l'exploitant est légèrement moins élevé. Cependant, depuis 2013, ce site s'est équipé d'une chaudière à CO.

### ***Emissions de PM10, PM2,5, PM1,0***

La granulométrie provient de l'étude CEPMEIP [49].

### ***Métaux lourds (ML)***

Seules les émissions des métaux lourds (Hg, Pb et Cd) sont identifiées pour le brûlage du coke dans le craqueur catalytique.

Les émissions proviennent directement des déclarations annuelles d'émissions [19]. En l'absence de donnée certaines années, les facteurs d'émission sont recalculés à partir des années pour lesquelles des résultats de mesures sont disponibles. Pour les sites ne disposant d'aucune mesure sur l'ensemble de la période, le facteur spécifique calculé à partir des mesures de l'ensemble des autres sites est appliqué.

#### ***Dioxines et furannes (PCDD-F)***

Des émissions de dioxines et furannes sont possibles pour la régénération du craqueur catalytique lors de régénération continue ou semi-continue. En France, seule une raffinerie utilise la régénération continue depuis 1994 (pas d'émission avant 1994). Le facteur d'émission utilisé entre 1994 et 2010 provient du guidebook CONCAWE ("Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries - 2017 edition"). Depuis 2011, les émissions proviennent directement de la déclaration annuelle des émissions de la raffinerie utilisant la régénération continue [19].

D'autres sources potentielles d'émissions de PCDD-F existent dans les procédés de raffinage (unité de cokéfaction, unité de régénération du soufre...) mais aucun facteur d'émission n'est disponible pour ces autres procédés, les émissions ne sont donc pas estimées pour ces autres procédés.

#### ***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Il n'y a pas d'émission de HAP identifiée pour le brûlage du coke dans le craqueur catalytique.

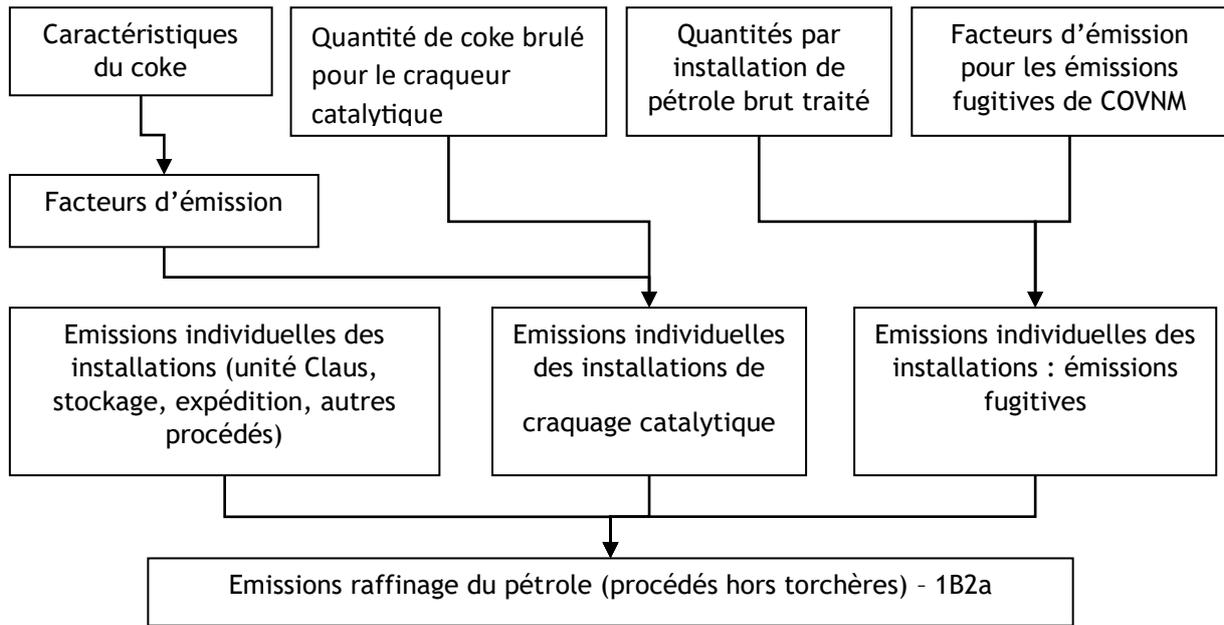
#### ***Polychlorobiphényles (PCB)***

Il n'y a pas d'émission de PCB identifiée pour le brûlage du coke dans le craqueur catalytique.

#### ***Hexachlorobenzène (HCB)***

Il n'y a pas d'émission de HCB identifiées pour le brûlage du coke dans le craqueur catalytique.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
26/01/2024	BM	13/02/2024	JV

## EXTRACTION ET TRAITEMENT DU GAZ NATUREL

Cette section concerne uniquement les procédés liés à l'extraction et au traitement du gaz naturel.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.B.2.b
CEE-NU / NFR	1.B.2.b
SNAPc (extension CITEPA)	05.03.01 à 05.03.02
CE / directive IED	1.2
CE / E-PRTR	1a
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Volume de production nationale + bottom-up (une seule installation)	Déclaration annuelle des rejets et communication des exploitants

### Niveau de méthode :

Rang 2 (Activités terrestres - autres que la désulfuration) et rang 3 (Avant 2014, activités terrestres -désulfuration)

### Références utilisées :

- [14] CPDP - Pétrole (publication annuelle)
- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [404] Elf Aquitaine - Communications personnelles chaque année

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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.

Le site de Lacq représentait 90% de la production totale jusqu'en 2013 mais le site a fermé en 2014.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

#### Introduction

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].

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub>**

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. A partir de 2014, un changement méthodologique est opéré puisque le site de Lacq est à l'arrêt. Un facteur d'émission moyen est calculé sur la période 2007-2013. Ce facteur est ensuite appliqué pour le calcul des émissions postérieures à 2014.

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

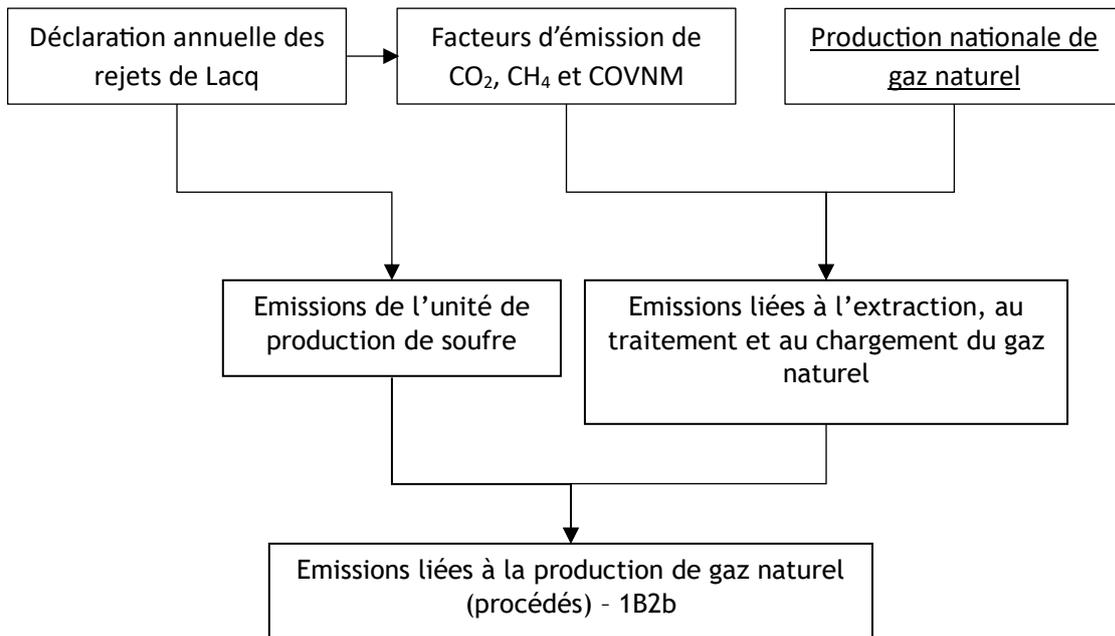
Les émissions proviennent directement de la déclaration annuelle des rejets du site de Lacq ou des communications directes de l'exploitant [19, 404]. En effet, le site de Lacq était le seul gisement de gaz acide qui contenait une forte teneur en H<sub>2</sub>S nécessitant donc une unité de désulfuration.

Des pics d'émission de SO<sub>2</sub> sont observés en 2000 et 2005. Cela est dû à des arrêts techniques dans le cadre du changement des catalyseurs sur les usines à soufre du site de Lacq. Ces unités permettent de récupérer jusque 99,5 à 99,7 % du soufre contenu dans les effluents gazeux. Durant ces périodes d'arrêts (1 mois environ), les effluents ne sont pas traités ce qui explique ces pics d'émission de SO<sub>2</sub>.

### **Emissions de COVNM**

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. A partir de 2014, un changement méthodologique est opéré puisque le site de Lacq est à l'arrêt. Un facteur d'émission moyen est calculé sur la période 2007-2013. Ce facteur est ensuite appliqué pour le calcul des émissions postérieures à 2014.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
26/01/2024	BM	14/02/2024	JV

## TRANSPORT, STOCKAGE ET DISTRIBUTION DU GAZ NATUREL

Cette section traite des fuites sur le réseau de transport et de distribution du gaz naturel. Les émissions de combustion des stations de compression sont traitées en section « 1A3e\_pipeline compressor ».

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.B.2.b
CEE-NU / NFR	1.B.2.b
SNAPc (extension CITEPA)	05.06.01 et 05.06.03
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Longueurs des réseaux (l'activité est déclarée en consommation intérieure de gaz naturel)	Valeurs nationales moyennes à partir de données détaillées

### Niveau de méthode :

Rang 2 (estimation, la classification n'étant pas clairement définie)

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [334] GRDF - Communication annuelle des émissions nationales de CH<sub>4</sub> au Citepa
- [629] Transport Infrastructure Gaz France (TIGF) - Données internes, communication annuelle
- [679] Caractéristiques des gisements de gaz naturel  
<http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/archives/donnees%206eme%20edition%201994/produits%20organiques/gaznaturel.htm>
- [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
- [907] Données locales d'énergie (gaz) - <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/donnees-locales-denergie/#>

[1075] GRTgaz - Communication annuelle des émissions nationales de CH<sub>4</sub> au Citepa

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Les principales sources d'émissions fugitives couvertes par cette section proviennent :

- du réseau de distribution,
- du réseau de transport,
- des stations de compressions,
- des sites de stockage,
- des terminaux méthaniers.

La nature des émissions est ici étroitement liée à la composition du gaz naturel. En conséquence, les émissions renseignées portent sur le CH<sub>4</sub>, les COVNM et le CO<sub>2</sub>.

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 supérieure à 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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

#### Introduction

#### Emissions du réseau de distribution

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.

#### Emissions du réseau de transport

Les émissions de CH<sub>4</sub> 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.

### Emissions des sites de stockage

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 GEREPE pour les installations de Storengy ou communiquées annuellement par Terega [19, 629]. Avant cette date, les émissions sont considérées constantes.

### Emissions des terminaux méthaniers

Les émissions des terminaux méthaniers sont issues des fuites des réservoirs de stockage, des rejets ponctuels lors d'opérations 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 GEREPE pour les installations de Elengy (filiale de ENGIE) [19]. Avant cette date, les émissions sont considérées constantes.

### Emissions des stations de compression

Les émissions des stations de compression sont issues des fuites des équipements, des rejets ponctuels lors d'opérations de maintenance et/ou de travaux sur les installations de compression, ou des émissions lors de la mise en sécurité du site.

Depuis 2006, ces émissions sont communiquées annuellement par GRTgaz ((filiale de ENGIE) et Terega (ex-TIGF) [1075, 629]. Avant cette date, les émissions sont considérées constantes hormis pour les micro-fuites de GRTgaz calculées au prorata du nombre de compresseurs.

Les émissions totales obtenues sont ramenées à la consommation annuelle intérieure de gaz naturel (non corrigée du climat).

Les sites de stockage et stations de compression sont connus et peuvent être géoréférencés.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub>**

#### Emissions du réseau de distribution

Les émissions de CH<sub>4</sub> 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.

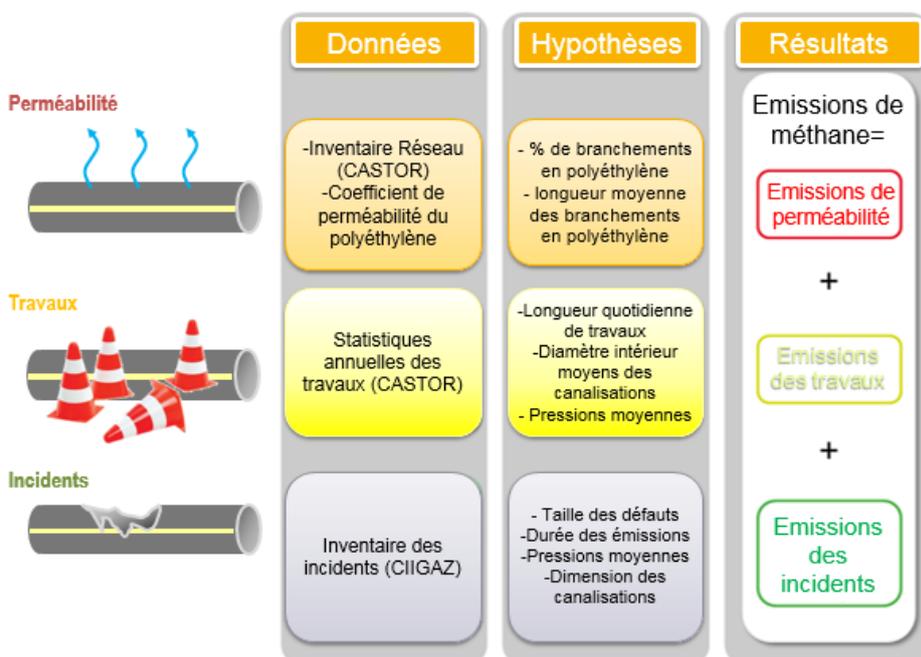
- Emissions dues aux travaux : lors des actes d'allongement, de réfection, ... du réseau, il est nécessaire de purger une partie du réseau, l'équipement, puis de purger l'air introduit lors des travaux et de le remplacer par du gaz naturel.
- Emissions dues aux incidents : lorsqu'une fuite est détectée 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 CH<sub>4</sub> ainsi obtenues par GRDF sont ensuite extrapolées à l'ensemble du réseau de distribution. Ainsi, afin de faire varier annuellement la part des autres opérateurs de distribution de gaz naturel que GRDF, les données de consommation issues de la LTECV (Loi de transition énergétique pour la croissance verte) sont utilisées depuis 2000. Cette part varie légèrement selon les années, allant de 1% à 5% du total national [907].

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont ensuite déterminées à partir de la composition moyenne du gaz naturel consommé en France et des émissions de CH<sub>4</sub>. 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	2022
CH <sub>4</sub>	83,8%	85,6%	85,1%	88,5%	89,0%
CO <sub>2</sub>	0,9%	0,9%	1,0%	0,9%	0,9%
Ratio CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub>	0,011	0,010	0,012	0,010	0,010

### Emissions du réseau de transport

Les émissions de CH<sub>4</sub> 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 CH<sub>4</sub>/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'ayant pas reçu sont connus. Le débit total de pertes diffuses pour les postes de sectionnement correspond aux émissions des postes avec et sans maintenance, ces postes se distinguant par des débits de pertes diffuses unitaires différents (en tonne CH<sub>4</sub>/poste).

Emissions des sites de stockage, de compression et terminaux méthaniers

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 (cf. section « 1B2b\_natural gas transmission »), 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.

**Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

#### **Emissions de COVNM**

Les émissions de COVNM sont évaluées à partir des émissions de méthane (CH<sub>4</sub>), en tenant compte de la composition moyenne du gaz naturel consommé en France.

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	2022
CH <sub>4</sub>	83,8%	85,6%	85,1%	88,5%	89,0%
COVNM	8,7%	8,2%	7,8%	6,5%	6,4%
Ratio CH <sub>4</sub> /COVNM	9,7	10,5	11,0	13,6	13,8

Les émissions lors du stockage et de la regazéification du GNL sont déterminées séparément en appliquant le même ratio.

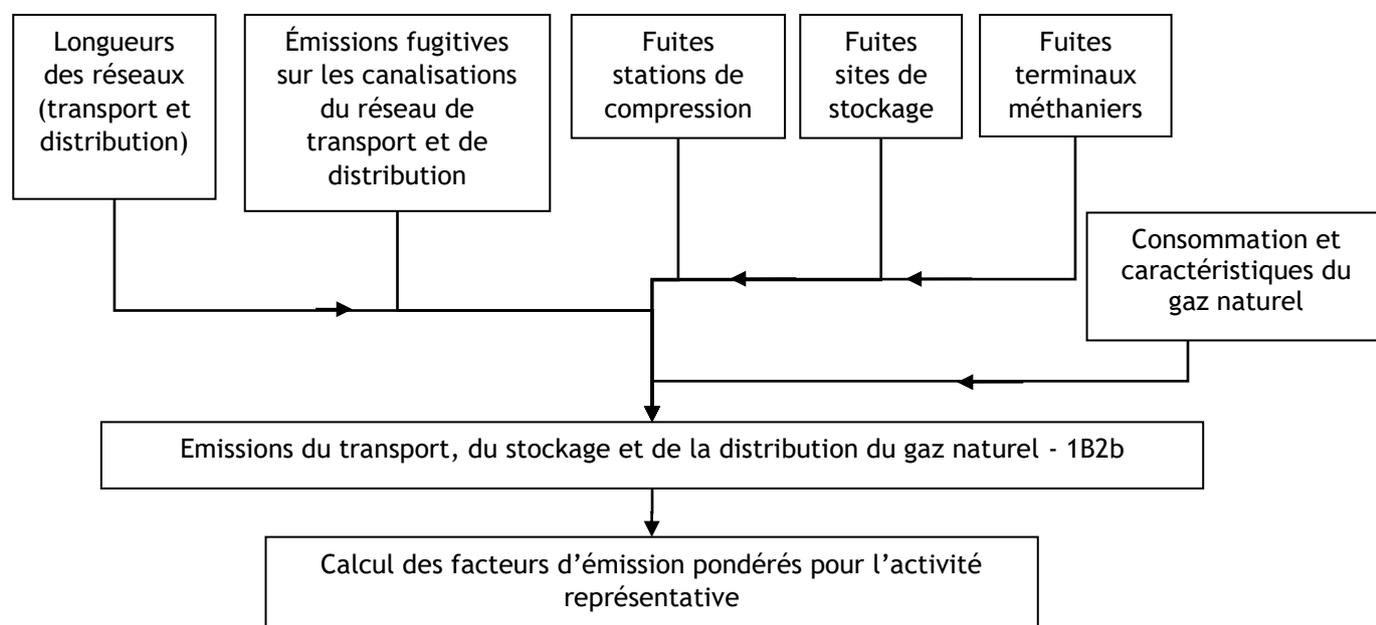
Les émissions totales sont scindées en deux secteurs : le transport et la distribution. Elles sont rapportées à la consommation intérieure annuelle de gaz naturel (non corrigée du climat).

Il est également possible de rapporter ces émissions à la longueur totale du réseau de transport et de distribution (tous types de matériaux confondus).

Les émissions, la consommation annuelle, la longueur et la nature des réseaux, ainsi que les facteurs d'émission pondérés varient chaque année.

Malgré l'augmentation constante de la longueur des réseaux de transport et de distribution (cf. section « 1B2b\_natural gas transmission »), 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.

#### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
06/01/2022	BM	31/01/2022	JV

## TORCHERES ET VENTILATION DANS L'EXTRACTION DE GAZ ET DE PETROLE

Cette section concerne les émissions liées au torchage :

- dans l'extraction du gaz,
- dans l'extraction de pétrole,
- sur les stations de compression et les terminaux méthaniers.

Les émissions dues aux gaz rejetés par les installations (purges, événements, etc.) dans l'extraction de pétrole sont également reportées dans cette section.

Les torches des raffineries sont traitées dans la section 1B2c\_petrol refining.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.B.2.c
CEE-NU / NFR	1.B.2.c
SNAPc (extension CITEPA)	09.02.06 et 050201 (VEN)
CE / directive IED	1.2
CE / E-PRTR	1a
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up (Lacq) et production nationale de gaz + production nationale annuelle de pétrole + quantité de gaz torché sur les stations de compression et les terminaux méthaniers	Déclaration annuelle des rejets + facteurs spécifiques de la littérature

### Niveau de méthode :

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).

### Références utilisées :

- [14] CPDP - Pétrole (publication annuelle)
- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [627] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 4, Fugitive emissions, Table 4.2.4, p4.50

[1184] EMEP/EEA - Emission Inventory Guidebook 2019 - 1.B.2.c Venting and flaring, Flaring in

oil and gas extraction (p7 - 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)

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

#### Introduction

L'estimation des émissions, liées au torchage et à la ventilation lors de la production de pétrole, est basée sur la quantité annuelle de gaz torché estimée à partir de la production de pétrole en France [14] et des facteurs d'émission de la littérature [627]. Ces données permettent d'estimer les émissions de la plupart des substances, notamment celles participant à l'acidification et au changement climatique.

En ce qui concerne la production de gaz, l'activité, autrefois importante, est en régression continue avec l'épuisement des gisements en particulier celui de Lacq. A l'exception du site de Lacq qui était largement dominant jusqu'en 2014, les informations relatives au torchage lors de l'extraction du gaz sur les divers petits sites ne sont pas connues spécifiquement et sont estimées à partir des productions annuelles.

Concernant le torchage dans les terminaux méthaniers et les stations de compression, les quantités de gaz torché sont directement obtenues auprès des exploitants [19]. Faute d'information précise et compte tenu de la très faible activité, seules les émissions liées aux gaz à effet de serre sont estimées.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### Emissions de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O

##### Extraction du pétrole

Concernant les émissions de la mise en torchère et de la ventilation (« venting ») sur les sites d'extraction de pétrole, les facteurs d'émission utilisés sont tirés des lignes directrices du GIEC 2006 [627].

Ces facteurs d'émission étant indiqués en Gg / 1000 m<sup>3</sup> dans les lignes directrices du GIEC 2006, ils peuvent être convertis en kg/PJ à partir de la masse volumique (0,86 tonne/m<sup>3</sup>) et du PCI (42 MJ/kg) du pétrole brut. Les résultats des conversions sont les suivants :

FE pétrole	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
------------	-----------------	-----------------	------------------

	Gg/1000m <sup>3</sup>	kg/PJ	Gg/1000m <sup>3</sup>	kg/PJ	Gg/1000m <sup>3</sup>	kg/PJ
Venting	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

A ces émissions issues des torches de l'extraction de pétrole s'ajoutent les émissions des torches des raffineries qui sont traitées dans la section 1B2c\_petrol refining.

#### 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.

A 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 CO<sub>2</sub> depuis 2005),
- soit un facteur d'émission moyen est recalculé à partir des consommations et des émissions des années connues.

#### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

##### **Emissions de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM, CO**

#### Extraction du pétrole

Les émissions de COVNM liées à la ventilation (VEN) sur les sites d'extraction de pétrole sont calculées et déterminées à partir du facteur d'émission par défaut du GIEC [627] et de la production nationale de pétrole brut [14]. Le FE est supposé constant au cours du temps.

Les émissions de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM et CO liées au torchage sur les sites d'extraction de pétrole sont estimées à partir de la quantité de gaz torché et des facteurs d'émission Tier 1 du guidebook EMEP/EEA 2019 [1184]. Les FE sont supposés constants au cours du temps.

#### 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 FE des polluants du site de Lacq sont appliqués à la production des autres sites d'extraction de gaz naturel afin de calculer les émissions liées au torchage de l'ensemble de la production française.

A partir de 2014, le site de Lacq étant fermé, la méthodologie mise en place consiste en l'estimation d'un facteur moyen d'émission pour chacun des polluants 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.

Le facteur d'émission du SO<sub>2</sub> varie d'une année à l'autre en fonction de la quantité de gaz brûlé et du contenu en soufre. Des pics d'émissions sont observés certaines années et engendrés par des conditions opératoires particulières au sein du site. Cela a, par exemple, été le cas en 2010 et 2013. En 2010, une quantité importante de gaz contenant un pourcentage élevé de H<sub>2</sub>S n'a pas pu être recyclé et a donc été dirigé vers les torchères (expliquant ainsi une hausse des émissions). Les fortes émissions de SO<sub>2</sub> en 2013 s'expliquent par le fait que le site de Lacq a fermé cette année-là et que plus de gaz a, par conséquent, été brûlé.

#### Stations de compression et terminaux méthaniers

Les émissions sont calculées à partir des déclarations annuelles de rejets [19]. Les FE spécifiques aux sites sont utilisés à partir de 2010 pour le NO<sub>x</sub> et le CO, 2011 pour le COVNM et 2013 pour le SO<sub>2</sub>. Faute des données fiables disponibles, une moyenne basée sur les 3 premières années disponibles est appliquée aux années précédentes.

#### ***Emissions de poussières totales en suspension (TSP)***

##### Extraction du gaz et pétrole

Les émissions sont calculées sur la base du facteur d'émission du guide EMEP/EEA [1185].

#### Stations de compression et terminaux méthaniers

Les émissions sont calculées à partir des déclarations annuelles de rejets [19]. Les FE spécifiques aux sites sont utilisés à partir de 2013. Faute des données fiables disponibles, une moyenne basée sur les 3 premières années disponibles est appliquée aux années précédentes.

#### ***Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>***

##### Extraction du gaz et pétrole

La granulométrie provient du guide EMEP/EEA [1185]. Toutes les TSP sont des PM<sub>2,5</sub>.

#### Stations de compression et terminaux méthaniers

Les émissions sont calculées sur la base du facteur d'émission du TSP.

#### ***Emissions de carbone suie / black carbon (BC)***

La part du BC dans les émissions de PM<sub>2,5</sub> est de 24% selon le guide EMEP/EEA [1185].

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
25/01/2023	BM	28/01/2023	JV

## RAFFINAGE DU PETROLE

Cette section concerne uniquement les torchères de raffinerie de pétrole. Les émissions issues des installations de combustion (i.e. chaudières, TAG, moteurs et fours) sont comptabilisées dans la section 1A1b\_petrol refining et celles relatives aux procédés dans la section 1B2a\_petrol refining.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	1.B.2.c
CEE-NU / NFR	1.B.2.c
SNAPc (extension CITEPA)	09.02.03
CE / directive IED	1.2
CE / E-PRTR	1a
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up intégral (toutes les installations sont considérées individuellement)	Spécifiques de chaque installation ou spécifiques des raffineries françaises (FE moyen des raffineries) ou littérature spécifique raffinage du pétrole (CONCAWE)

### Niveau de méthode :

Rang 2 ou 3 selon les substances

### Références utilisées :

- [14] CPDP - Pétrole (publication annuelle)
- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [49] TNO - Etude CEPMEIP relative aux émissions de particules, 2001
- [396] CONCAWE 1/09 - Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries, 2009
- [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'
- [1234] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.B.2.c Venting and flaring, (p 7 - table 3-1)

## Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Il y a actuellement 10 raffineries déclarant une activité en France dont une située en Martinique (territoire hors PTOM) et une récemment reconvertie en bioraffinerie (site de La Mède, dont la plateforme a vu en 2022 la création du nouveau site de bioraffinage Ecoslops).

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

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

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 2016, la raffinerie de Dunkerque (SRD) n'a pas fonctionné et a définitivement fermé ses portes en Janvier 2017.

## Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

### Introduction

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.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> 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.

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Selon les informations disponibles, les émissions de CH<sub>4</sub> 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.

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Selon les informations disponibles, les émissions de N<sub>2</sub>O 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.

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances pour les procédés considérés.

#### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Selon les informations disponibles, les émissions de SO<sub>2</sub> 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.

#### **Emissions de NO<sub>x</sub>, TSP**

Selon les informations disponibles, les émissions de NO<sub>x</sub> sont déterminées :

- à partir des déclarations annuelles d'émissions de chaque raffinerie [19],
- à partir d'un facteur d'émission moyen par 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.

#### **Emissions de COVNM, CO**

Selon les informations disponibles, les émissions de COVNM 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.

### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

La granulométrie pour les PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> provient de l'étude CEPMEIP [49].

Les PM<sub>1,0</sub> sont supposées égales aux PM<sub>2,5</sub>.

### **Métaux lourds (ML)**

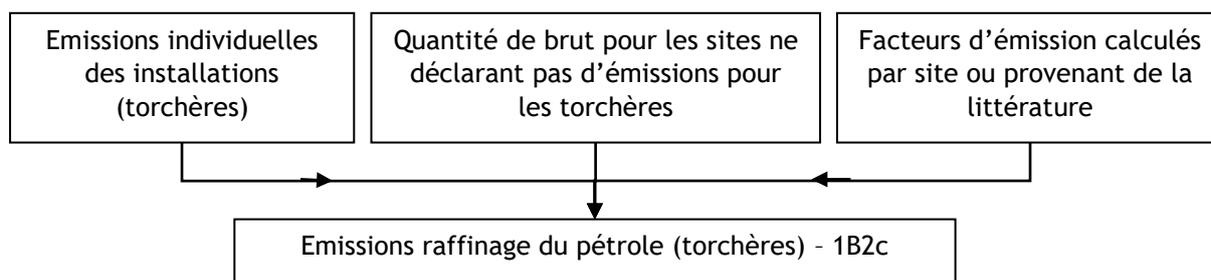
Les émissions de métaux lourds des torches sont estimées à partir des quantités déclarées de gaz torchés et des facteurs d'émission proposés par le CONCAWE [1003].

### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio provient de la référence [1184].

Le ratio retenu pour le torchage en raffinerie est de 24%.

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



## Industries minérales (procédés)

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
01/12/2022	EF	29/01/2023	JV

## PRODUCTION DE CIMENT (DECARBONATATION)

Ce paragraphe permet d'introduire la méthode de calcul des émissions induites par la décarbonatation dans le secteur de la production de ciment.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2A1
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension CITEPA)	040612
CE / directive IED	3.1 (installations avec des fours rotatifs de capacité de production supérieure à 500 tonnes par jour)
CE / E-PRTR	3ci et iii
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Avant 2004 : Production nationale de clinker provenant du Syndicat Français de l'Industrie Cimentière	Spécifiques de chaque installation considérée individuellement
A partir de 2004 : déclarations annuelles individuelles des sites industriels	

### Niveau de méthode :

Rang GIEC 2 ou 3 selon les années et du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations.

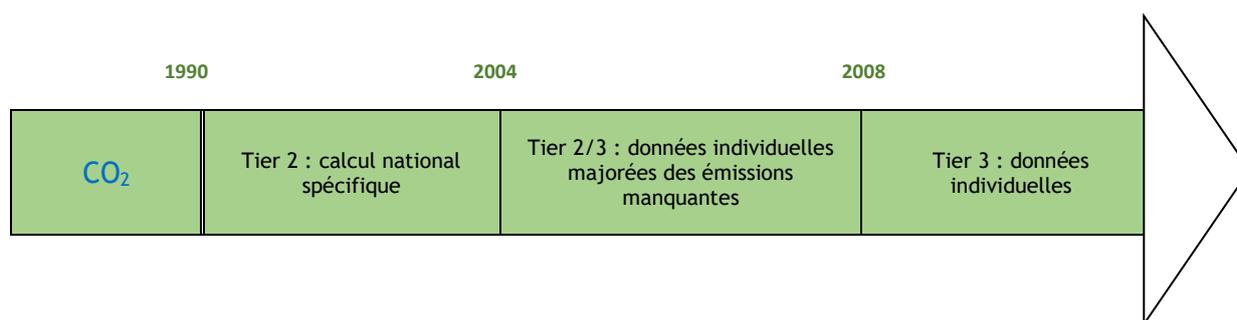
### Références utilisées :

- [218] SFIC (Syndicat Français de l'Industrie Cimentière) - données annuelles de production de clinker
- [239] ATILH - Mode d'obtention des données annuelles sur les émissions de CO<sub>2</sub> et moyens de contrôle de ces valeurs d'émission, novembre 2002
- [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
- [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
- [1064] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019 - Chapter 2A1 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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 agréant les productions recueillies au niveau des sites industriels.

La méthode mise en œuvre dépend de l'année considérée. Le schéma suivant présente ces différentes méthodes et une description plus fine est fournie dans la suite de ce document.

Niveau de méthode appliqué pour la détermination des émissions de CO<sub>2</sub>

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.

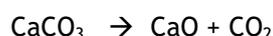
Entre l'année 2004, année des premières déclarations détaillées et l'année 2008, première année de la 2<sup>ème</sup> période du système d'échange des quotas d'émissions (SEQE), le périmètre des émissions déclarées par les industriels a évolué. Depuis 2008, les cimenteries déclarent tout ou partie des émissions des différentes sources suivantes :

- la calcination des carbonates dans les matières premières utilisées pour produire le clinker,
- la calcination totale ou partielle des poussières des fours à ciment ou des poussières de by-pass,
- dans certains cas du carbone non issu de carbonates présent dans les matières premières.

Entre 2004 et 2008, les industriels ne déclaraient pas les émissions de CO<sub>2</sub> induites par les poussières de by-pass, ni celles induites par le carbone non issu des carbonates. Afin d'assurer une série homogène et cohérente sur l'ensemble de la période, un facteur d'émission pour les différents types d'émissions de décarbonatation est déterminé et appliqué sur toute la série temporelle.

Le détail des différents types d'émissions de décarbonatation est présenté ci-après :

Concernant la calcination des carbonates dans les matières premières utilisées pour produire le clinker, le CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> de la décarbonatation à partir du contenu en chaux du clinker et une valeur par défaut est proposée pour le contenu en CaO du clinker : 65%.

Toutefois, le GIEC, dans son niveau 1, ne prend pas en compte la décomposition du MgCO<sub>3</sub>. D'après la profession cimentière [239], le clinker contient environ 2% de MgO.

Depuis 2004, les émissions de décarbonatation déterminées au niveau national sont cohérentes avec les données d'émissions relatives à la décarbonatation des cimenteries couvertes par le système d'échanges de quotas de gaz à effet de serre (SEQE). Ce dernier ne regroupant pas l'ensemble des cimenteries, les émissions nationales sont légèrement supérieures à celles observées dans le système d'échange. Toutefois, depuis 2013, toutes les cimenteries sont couvertes par le système d'échanges de quotas de gaz à effet de serre.

Les émissions nationales dans l'inventaire correspondent au total des émissions déclarées par l'ensemble des cimenteries.

Le facteur d'émission par défaut est de 525 kg CO<sub>2</sub> / t clinker [348-annexe VI]. Depuis la mise en place du SEQE, la plupart des cimenteries ont mis en œuvre des niveaux de méthode précis (élevés au sens de la réglementation EU ETS) pour la détermination des émissions. Ainsi, des mesures de la teneur en carbone dans les matières premières sont réalisées, permettant d'obtenir des valeurs spécifiques précises.

Concernant la calcination des poussières des fours à ciment ou des poussières de by-pass, seules quelques installations sont concernées (environ la moitié est munie de tels équipements). Ces émissions ne sont déclarées par les exploitants que depuis 2008 dans le cadre de la seconde période du SEQE mais elles sont estimées dans l'inventaire pour les années antérieures grâce à une méthode de calcul décrite ci-après.

Concernant le carbone non issu de carbonates présent dans les matières premières, seules quelques installations sont concernées (environ 1/3). Ces émissions ne sont déclarées par les exploitants que depuis 2008. Elles sont toutefois estimées dans l'inventaire pour les années antérieures grâce à une méthode de calcul décrite ci-après.

Le procédé relatif à la production de ciment 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.

### Méthode générale d'estimation des émissions :

### Méthode d'estimation des émissions de GES :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

La méthode appliquée est de rang GIEC 2 voire 3 pour les années les plus récentes (cf. schéma ci-dessus).

Le facteur d'émission de CO<sub>2</sub> est déterminé, d'une part, pour la production de ciment aluminaté 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 CO<sub>2</sub> 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 aluminaté

Les sites de production de ciment aluminaté n'existent qu'en France métropolitaine et ils sont au nombre de trois. Toutefois, compte tenu des matières premières utilisées, les trois sites sont à

l'origine d'émissions induites par la décarbonatation dont l'un avec des émissions de CO<sub>2</sub> très faibles (inférieures à 300 tCO<sub>2</sub>).

La production de ciment aluminaté représente en 2021 moins de 5% de la production nationale de clinker.

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 aluminaté qui représente entre 3% et 4% de la production nationale de clinker (méthode appliquée : rang GIEC 2).
- De 2004 à 2016, 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 aluminaté 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 26, n'existent qu'en France métropolitaine.

La méthodologie mise en œuvre est la suivante. Elle permet d'assurer une cohérence temporelle sur l'ensemble de la période.

- Avant 2004, ne disposant pas des déclarations annuelles des exploitants, plusieurs estimations sont effectuées pour chacune des trois sources et les émissions finales correspondent à la somme de ces trois sources :
  - Tout d'abord, les émissions induites par la calcination des carbonates dans les matières premières sont estimées par année sur la base du facteur d'émission de 525 kg/t clinker [348 - annexe VI] et de la production relative aux autres types de clinker.
  - Par ailleurs, une fois cette première source quantifiée, les émissions de CO<sub>2</sub> induites par la calcination totale ou partielle des poussières sont estimées sur la base d'un ratio de 0,4% des émissions induites par la calcination des carbonates dans les matières premières. Ce ratio est déterminé à partir des données rapportées pour l'année 2009 par les exploitants [19].
  - Enfin, les émissions de CO<sub>2</sub> 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 estimés 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.

	Ciment aluminaté	Autres types de ciment
Avant 2004	Utilisation du facteur d'émission de CO <sub>2</sub> 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).

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue.

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Il n'y a pas d'émission attendue.

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue.

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

### ***Emissions de particules***

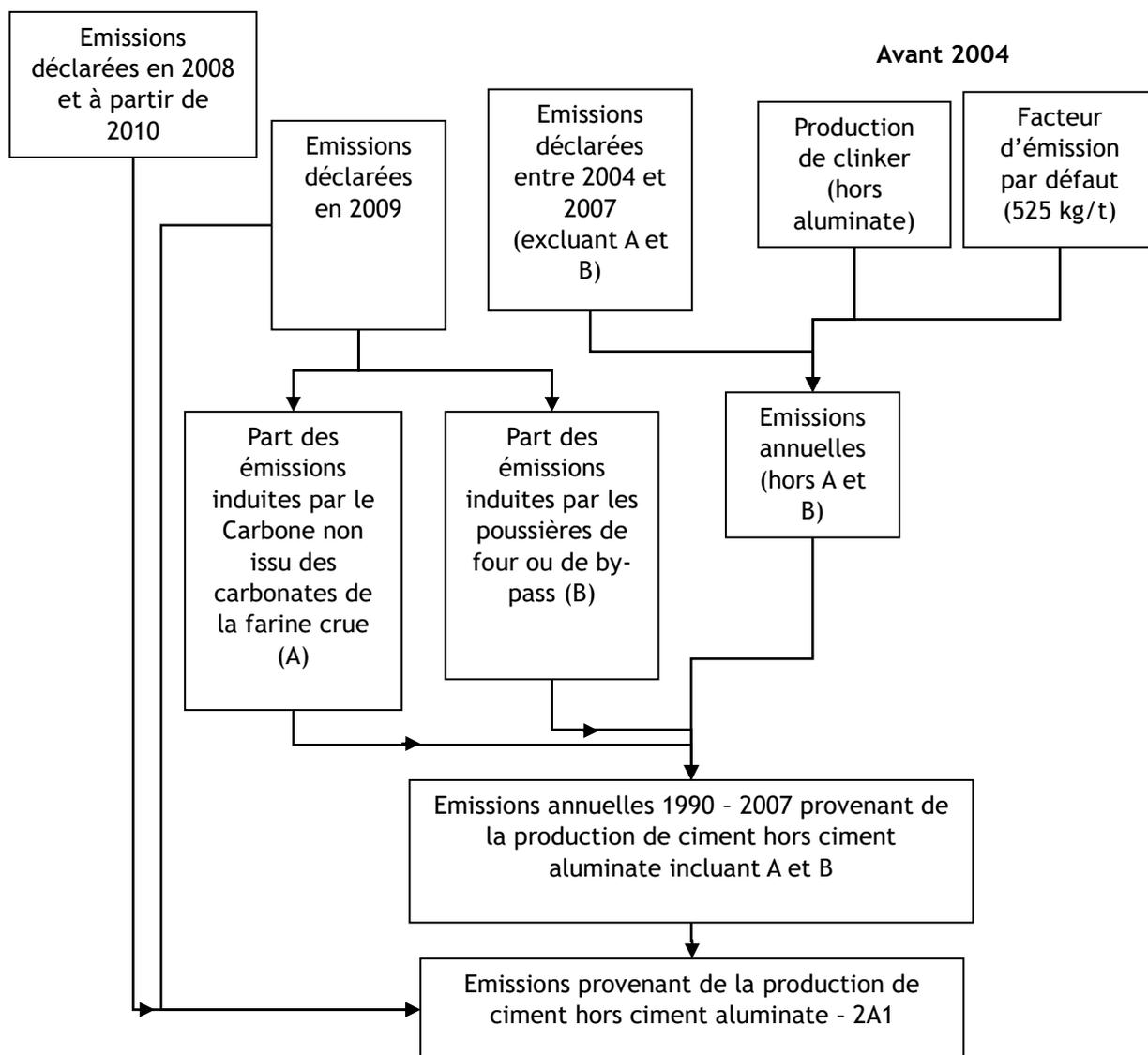
Concernant les émissions, le facteur d'émission de référence est celui du guide EMEP, chapitre 2A1 (partie 3.2.2) [1064]. Il est mentionné dans le Guidebook EMEP que les facteurs d'émission présentés dans la table 3.1 incluent les émissions additionnelles provenant de la manipulation des produits et des matières premières. Toutefois, la source des facteurs d'émission de particules utilisée est le document BREF de la production de ciment et de chaux (table 1.23). Dans le document du BREF, la table 1.23 fournit des résultats d'émission pour des fours à ciment européens et il est également mentionné que les résultats correspondent à des mesures de poussières en continu et qu'ils dépendent de l'équipement de réduction mis en place. Il en est déduit que le facteur d'émission présenté dans le BREF se réfère uniquement aux fours et n'intègre donc pas les émissions complémentaires relatives à la manipulation des produits et matières premières.

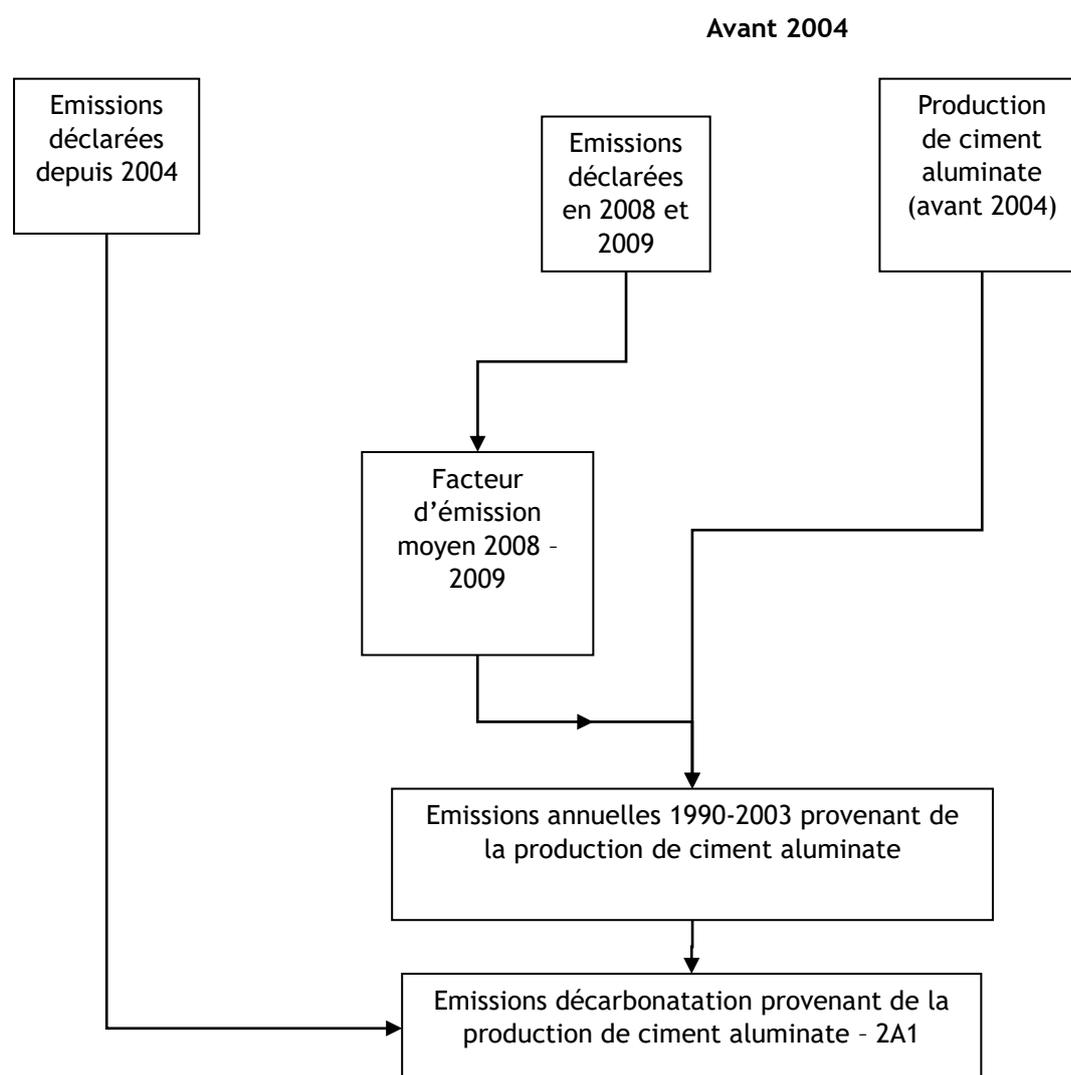
*Les émissions de particules relatives aux fours sont incluses dans la section 1A2f-cement.*

*Les émissions de particules relatives à la manipulation des produits minéraux sont prises en compte dans le chapitre 2A5-mineral product handling.*

Logigramme du processus d'estimation des émissions.

CO<sub>2</sub> - Hors ciment aluminaté



CO<sub>2</sub> - Ciment aluminate

Les émissions totales du secteur correspondent à la somme des émissions « ciment hors aluminate » et « ciment aluminate ».

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
08/02/2024	AG	13/02/2024	JV

## PRODUCTION DE CHAUX (DECARBONATATION)

Ce paragraphe permet d'introduire la méthode de calcul des émissions induites par la décarbonatation dans le secteur de la production de chaux.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2A2
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension CITEPA)	040614
CE / directive IED	3.1 (installations avec des fours rotatifs de capacité de production supérieure à 50 tonnes par jour)
CE / E-PRTR	3cii et iii
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production nationale de chaux aérienne et magnésienne provenant de la profession (Chambre Syndicale Nationale des Fabricants de Chaux Grasses et Magnésiennes)	Facteur d'émission de la chaux aérienne et magnésienne déterminé par réaction chimique (valeur stœchiométrique ou valeur mesurée par les sites industriels) et prise en compte des émissions induites par les poussières de by-pass
Production de chaux hydraulique provenant de la profession (ATILH) ou des déclarations des sites	Facteur d'émission de la chaux hydraulique déterminé à partir des émissions connues pour l'ensemble des sites de production de chaux hydraulique
Production de chaux du secteur du raffinage en sucrerie	Facteur d'émission de la chaux produite par les sucriers déterminé selon la stœchiométrie de la réaction chimique

### Niveau de méthode :

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

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[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
- [332] ANPEA (Association nationale professionnelle pour les engrais et amendements) - Résultats enquête amendements basiques - <http://www.anpea.com/>
- [527] SNFS (Syndicat National des Fabricants de Sucre) - Données internes, octobre 2012
- [614] Lignes directrices du GIEC - Version 2006 - Chapitre 2 : émissions dans l'industrie minérale - tableau 2.4
- [1068] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019 - Chapter 2A2 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Dans le secteur de la production de chaux, trois types de production de chaux sont à distinguer :

- la production de chaux aérienne, également appelée chaux grasse ou chaux calcique et de chaux magnésienne. La chaux aérienne est principalement constituée d'oxyde ou d'hydroxyde de calcium qui durcit lentement à l'air sous l'effet du CO<sub>2</sub> 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.

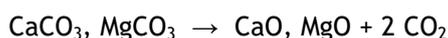
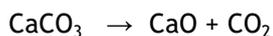
Il y a très peu de sites de production de chaux hydraulique en France métropolitaine : les quatre sites les plus importants soumis au système déclaratif annuel des rejets (plus que 3 sites depuis 2013) et deux autres plus petits sites.

La production pour les plus gros sites est connue via les déclarations individuelles [19] ou via des communications directes des sites. La production des deux autres plus petits sites est connue en 2004 à partir de données transmises par la profession [195]. En 2004, ces 2 sites représentent 3% de la production de chaux hydraulique totale. Ce pourcentage est conservé pour estimer la production sur l'ensemble de la période.

- la production de chaux dans le secteur de production de sucre de betteraves (auto-producteur). L'estimation de la quantité de CaCO<sub>3</sub> contenue dans les roches calcaires utilisées par les sucriers est basée sur la quantité de betterave traitée [332]. Une partie de la quantité de CaCO<sub>3</sub> se retrouve dans les écumes de sucrerie (ensuite réutilisées en agriculture comme amendement minéral basique). Un rendement de 98% de récupération des carbonates, pour estimer la quantité de CO<sub>2</sub> émise au niveau du site, est retenu. Cette valeur du rendement est basée sur une estimation prudente des possibles pertes au niveau de l'étape de carbonatation du jus de sucre. En effet, selon le point 10 de l'annexe IV du règlement 2018/2066 (sur la surveillance et déclaration des émissions de CO<sub>2</sub> dans le cadre de l'EU ETS), « lorsque la chaux vive et le CO<sub>2</sub> issus du calcaire sont utilisés dans des procédés de purification [carbonatation du jus de sucre], de sorte qu'approximativement la même quantité de CO<sub>2</sub> se trouve à nouveau sous forme liée, il n'est pas nécessaire de faire figurer séparément la décomposition des carbonates et ledit procédé d'épuration dans le plan de surveillance de l'installation ». Cela signifie que les installations soumises à l'EU ETS qui

produisent la chaux nécessaire à la production de sucre ne comptabilisent pas d'émission de décarbonatation pour la production de cette chaux. Afin d'éviter toute sous-estimation des émissions, des pertes de l'ordre de 2% sont comptabilisées, correspondant à des émissions à l'atmosphère.

Le CO<sub>2</sub> 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 :



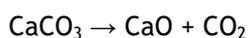
Dans le cas de la production de la chaux hydraulique, tout le calcium ne peut pas être décarbonaté. Le facteur d'émission dépend de la chaux hydraulique produite et sera variable en fonction du site de production.

## Méthode d'estimation des émissions de GES :

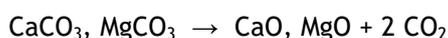
### Emissions de CO<sub>2</sub>

#### a) Chaux aérienne et magnésienne

Le facteur d'émission de CO<sub>2</sub> est déterminé à partir de la réaction chimique :



Le facteur d'émission pour la chaux calcique communiqué par la profession est de 785 kg CO<sub>2</sub> / 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 CO<sub>2</sub> / 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 (SEQE) sont prises en compte [19].

De plus, des émissions de CO<sub>2</sub> induites par les poussières de by-pass doivent être comptabilisées si le site dispose de cette technique.

D'après le règlement 2018/2066 relatif à la surveillance et la déclaration des émissions dans le cadre du SEQE, deux méthodes de calcul sont possibles pour estimer les émissions de CO<sub>2</sub> de la production de chaux (annexe II, sections 4 et 5 et annexe IV, section 10) :

- méthode A basée sur la consommation des carbonates. Il est indiqué que dans ce cas, les émissions des poussières de by-pass ne doivent pas être ajoutées ;
- méthode B basée sur la production de chaux. Dans ce cas, si le site dispose d'un système de by-pass, alors le site doit comptabiliser les émissions de CO<sub>2</sub> liées aux poussières de by-pass.

Dans le cas des déclarations, pour la chaux aérienne/magnésienne [19] :

- 9 sites déclarent selon la méthode A

- 7 sites déclarent selon la méthode B et parmi les 7 sites, uniquement 2 déclarent des émissions de CO<sub>2</sub> liées aux poussières de by-pass.

Deux périodes interviennent pour les sites de production de chaux aérienne/magnésienne :

#### Période après 2013

Les données proviennent des déclarations annuelles qui prennent en compte les émissions liées aux particules de by-pass pour les deux sites en question. Les émissions de CO<sub>2</sub> sont donc exhaustives.

Pour la partie surfacique, le calcul est basé sur un facteur d'émission moyen de l'année considéré.

Ainsi, on peut conclure que les émissions de CO<sub>2</sub> sont exhaustives (elles incluent selon les sites les émissions des poussières de by-pass).

#### Période 1990-2012

Avant 2013, les déclarations ne prennent pas en compte les poussières de by-pass. Il convient donc d'ajouter aux émissions déclarées les émissions liées aux particules de by-pass.

Pour les différentes années à partir de 2013, à partir des émissions de CO<sub>2</sub> liées aux poussières de by-pass pour les deux sites concernés, la part que représentent ces émissions sur les émissions totales est déterminée. Un ratio moyen calculé sur la période 2013/2016 est appliqué aux émissions de CO<sub>2</sub> déterminées via les déclarations et via la méthode mise en œuvre pour le surfacique : ce ratio est de 0,2%.

Ainsi, les méthodes de calcul des émissions de CO<sub>2</sub> 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
P1 = Emissions CO <sub>2</sub> chaux = production nationale de chaux aérienne x 785 kg/t + production nationale de chaux magnésienne x 913 kg/t (valeurs stœchiométriques [614])	P1 = Emissions CO <sub>2</sub> chaux = Emissions CO <sub>2</sub> des déclarations annuelles (peu de sites) [19] + (production nationale chaux aérienne et magnésienne - production des sites utilisés en approche individuelle) x facteur d'émission moyen déterminé en 2004	P1 = Emissions CO <sub>2</sub> chaux = Emissions CO <sub>2</sub> 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
P2 = Emissions poussières de by- pass = P1 x 0,2%	P2 = Emissions poussières de by- pass = P1 x 0,2%	P2 = Emissions poussières de by- pass = P1 x 0,2% ( <i>uniquement            de 2003 à 2012</i> )
P3 = émissions CO <sub>2</sub> chaux totales = P1 + P2	P3 = émissions CO <sub>2</sub> chaux totales = P1 + P2	P3 = émissions CO <sub>2</sub> chaux totales = P1 + P2

De 1990 à 2000, les émissions de CO<sub>2</sub> sont déterminées à partir des productions nationales annuelles par type de chaux (chaux aérienne et chaux magnésienne) et des facteurs stœchiométriques [614].

Une fois ces émissions calculées, il convient d'ajouter les émissions liées aux poussières de by-pass qui correspondent aux émissions déterminées précédemment auxquelles on applique le ratio de 0,2%.

De 2001 à 2002, les émissions de CO<sub>2</sub> induites par la décarbonatation sont connues pour un nombre très restreint de sites via les déclarations annuelles de polluants [19]. Pour les autres sites, les émissions correspondent au produit entre la différence de la production nationale de chaux aérienne et magnésienne et de la production des sites utilisés en approche individuelle et du facteur d'émission moyen déterminé en 2004 (première année pour lesquelles des données individuelles sont plus complètes). Une fois ces émissions calculées, il convient d'ajouter les émissions liées aux poussières de by-pass qui correspondent aux émissions déterminées précédemment auxquelles on applique le ratio de 0,2%.

Depuis 2003, les émissions de CO<sub>2</sub> induites par la décarbonatation sont connues pour un nombre plus important de sites via les déclarations annuelles de polluants [19]. Pour les autres sites, les émissions correspondent au produit entre la différence de la production nationale de chaux aérienne et magnésienne et de la production des sites utilisés en approche individuelle et du facteur d'émission moyen déterminé annuellement à partir des données de CO<sub>2</sub> 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.

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
FE CO <sub>2</sub> (kg/t chaux aérienne et magnésienne)	790	792	792	769	742	748	742	738	731	730	716	729	739	734	723
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
FE CO <sub>2</sub> (kg/t chaux aérienne et magnésienne)	740	716													

#### b) Chaux hydraulique

Tout le calcium n'étant pas décarbonaté dans le cas de la production de la chaux hydraulique, les émissions de CO<sub>2</sub> proviennent des données des industriels [19, 195].

Les émissions de CO<sub>2</sub> induites par la chaux hydraulique représentent entre 1,5 et 4 % des émissions totales.

Comme pour la chaux aérienne, le règlement 2018/2066 relatif à la surveillance et la déclaration des émissions dans le cadre du SEQE propose deux méthodes de calcul pour estimer les émissions de CO<sub>2</sub> de la production de chaux (annexe II, sections 4 et 5 et annexe IV, section 10) :

- méthode A basée sur la consommation des carbonates. Il est indiqué que dans ce cas, les émissions des poussières de by-pass ne doivent pas être ajoutées ;
- méthode B basée sur la production de chaux. Dans ce cas, si le site dispose d'un système de by-pass alors le site doit comptabiliser les émissions de CO<sub>2</sub> liées aux poussières de by-pass.

Depuis 2005, les émissions sont déterminées dans les déclarations [19] sur la base de la méthode A donc il ne convient pas d'ajouter les émissions des poussières de by-pass. Avant 2005, les émissions proviennent soit des données communiquées par les sites industriels, soit du calcul à partir de la production du site et du facteur d'émission déterminé pour 2005 pour le site en question.

Ainsi, on peut conclure que les émissions de CO<sub>2</sub> liées aux poussières de by-pass sont exhaustives pour la chaux hydraulique sur toute la série temporelle.

Les méthodes de calcul des émissions de CO<sub>2</sub> 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
<b>Niveau GIEC Tier 2/3</b>	<b>Niveau GIEC Tier 3</b>
Emissions CO <sub>2</sub> = communication directe des émissions de CO <sub>2</sub> pour 2 sites [195]  + production du site x facteur d'émission déterminé en 2005 pour ce site	Emissions CO <sub>2</sub> des déclarations annuelles [19] ou des communications des sites [195]

De 1990 à 2004, les émissions de CO<sub>2</sub> pour le secteur de la production de chaux hydraulique proviennent, d'une part, des données de CO<sub>2</sub> directement communiquées par certains sites industriels (2 sites) et, d'autre part, pour les autres sites, de la production des sites et du facteur d'émission déterminé pour l'année 2005 sur la base des déclarations ou des communications.

Depuis 2005, les émissions de CO<sub>2</sub> 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].

*c) Chaux produite par le secteur de la production de sucre de betteraves (autoproduction)*

Dans le cas des sucreries, les émissions relatives à la production de chaux sont déterminées à partir de la quantité de chaux estimée et du facteur d'émission spécifique à ce secteur.

Comme il n'existe pas de données sur la consommation de roches des auto-producteurs en sucrerie, les données sont estimées à partir des informations connues sur les écumes de sucrerie.

La formule suivante est mise en œuvre pour estimer la production de chaux du secteur des sucreries :

$$\text{Quantité de chaux produite (CaO) (t)} = R1 \times R2 / 100 \times (\text{masse molaire CaO} / \text{masse molaire CaCO}_3) \times \text{quantité de betteraves produite brute (t)} / 1000$$

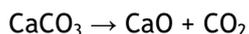
soit

$$\text{Quantité de chaux produite (CaO) (t)} = R1 \times R2 / 100 \times (56,1/100,1) \times \text{quantité de betteraves produite brute (t)} / 1000$$

Avec :

- R1 = 18 kg roche calcaire/ tonne betterave [527],
- R2 = 98% CaCO<sub>3</sub>/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<sub>2</sub> est déterminé à partir de la réaction chimique suivante :



Un rendement de 98 % de récupération des carbonates dans les écumes des sucreries est retenu sur toute la période, afin d'estimer la quantité de CO<sub>2</sub> émis pour la production de chaux en sucreries. Les émissions estimées correspondent aux éventuelles pertes à l'atmosphère suite à l'injection de CO<sub>2</sub> pour la carbonatation du jus de sucre (élimination des impuretés).

Il convient de noter que le point 10 de l'annexe IV du règlement 2018/2066 indique qu'il n'y a pas d'émission comptabilisée « lorsque la chaux vive et le CO<sub>2</sub> issus du calcaire sont utilisés dans des procédés de purification, de sorte qu'approximativement la même quantité de CO<sub>2</sub> se trouve à nouveau sous forme liée ». Toutefois, pour éviter toute sous-estimation des émissions, une valeur de 2% de pertes est incluse dans le calcul, d'où la valeur de rendement égale à 98 %, comme mentionné plus haut.

Le facteur d'émission est donc déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{FE CO}_2 \text{ (kg/t chaux)} = \text{masse molaire CO}_2 / \text{masse molaire CaCO}_3 \times 1000 \times (1 - 98/100)$$

Les émissions relatives à la production de chaux pour le raffinage des betteraves en sucrerie ne représentent qu'environ 0,2 % des émissions totales de ce secteur, selon les années.

#### ***Emissions de CH<sub>4</sub>***

Il n'y a pas d'émission attendue.

#### ***Emissions de N<sub>2</sub>O***

Il n'y a pas d'émission attendue.

#### ***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue.

### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

#### ***Emissions de particules***

Concernant les émissions de particules à prendre en compte dans le rapport IIR, le facteur d'émission de référence est celui du guide EMEP 2019, chapitre 2A2 (partie 3.2.2) [1068]. Il est mentionné dans le Guidebook EMEP que les facteurs d'émission présentés dans la table 3.1 incluent les émissions additionnelles provenant de la manipulation des produits et des matières premières. Toutefois, la source des facteurs d'émission de particules utilisée est le document BREF de la production de ciment et de chaux (table 1.23). Dans le BREF, la table 1.23 fournit des résultats d'émission pour des fours à ciment européens et il est également mentionné que les résultats correspondent à des mesures de poussières en continu et qu'ils dépendent de l'équipement de réduction mis en place. De fait, l'interprétation retenue dans l'inventaire français est que le facteur d'émission du BREF se réfère uniquement aux fours et n'intègre donc pas les émissions induites par la manipulation des produits et matières premières.

*Les émissions de particules relatives aux fours sont incluses dans la section 1A2f-lime.*

*Les émissions de particules relatives à la manipulation des produits minéraux sont prises en compte dans le chapitre 2A5-mineral product handling.*

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
28/12/2021	EF	29/01/2023	JV

## PRODUCTION DE VERRE (DECARBONATATION)

Ce paragraphe décrit la méthode de calcul des émissions induites par la décarbonatation du secteur de la production de verre.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2A3
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension CITEPA)	040613
CE / directive IED	3.3 (installations de capacité de production supérieure à 20 tonnes par jour) et 3.4
CE / E-PRTR	3e
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production nationale de verre neuf définie comme la différence entre la production de verre totale (statistique nationale) moins la quantité de calcin externe (profession)	Facteur d'émission national pour le CO <sub>2</sub> lié à la décarbonatation

### Niveau de méthode :

Rang GIEC 2 ou 3 selon les années.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [53] SESSI / INSEE - Bulletin mensuel de statistique industrielle
- [240] Fédération des Chambres Syndicales de l'Industrie du Verre - Communication de données internes
- [457] Fédération des industries du verre - Rapport d'activité annuel
- [1069] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019 - Chapter 2A3 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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 4 sites 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.

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.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> de la décarbonatation dans la production de verre sont déterminées à partir du produit entre la production nationale de verre neuf et le facteur d'émission national.

Elles sont induites par l'utilisation de diverses matières premières telles que le calcaire, la dolomie, le carbonate de soude et le bicarbonate de soude.

La production de verre neuf est déterminée comme suit :

Production de verre neuf = production de verre totale - quantité de calcin externe utilisée

Les sources de données de production nationale par type de verre produit sont décrites ci-dessus.

La quantité de calcin externe utilisée est fournie annuellement par la Fédération des Chambres Syndicales de l'Industrie du Verre [457].

Le facteur d'émission établi à partir de données de la profession est de 185 kg CO<sub>2</sub>/ 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.

### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue.

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Il n'y a pas d'émission attendue.

### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue.

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

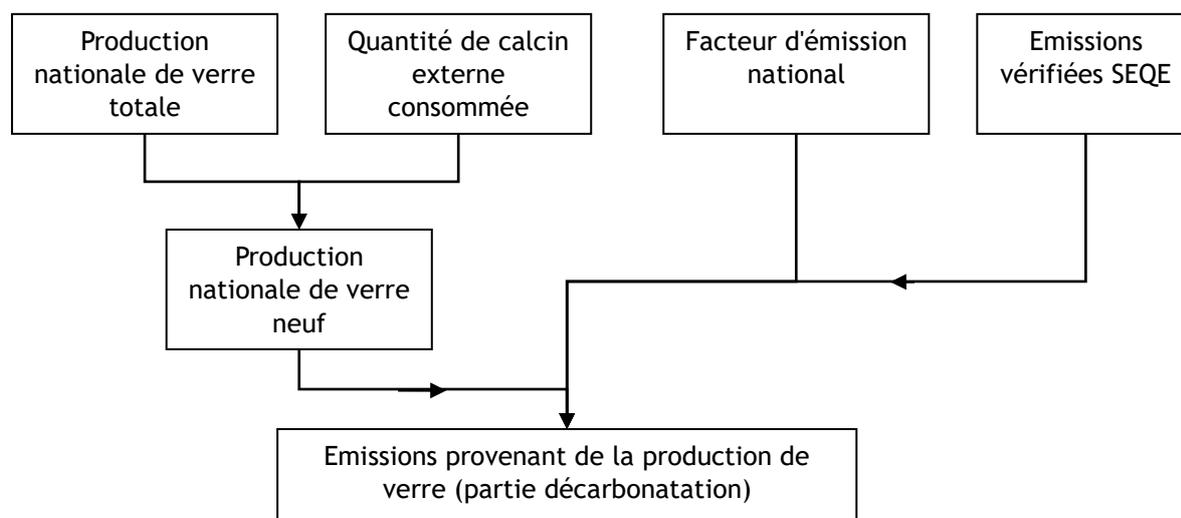
### **Emissions de particules**

Concernant les émissions de particules, le facteur d'émission de référence est celui du guide EMEP 2019, chapitre 2A3 (partie 3.2.2) [1069]. Il est mentionné dans le Guidebook EMEP que les facteurs d'émission présentés dans la table 3.1 incluent les émissions additionnelles provenant des activités qui ne sont pas liées au four. Toutefois, la source des facteurs d'émission de particules utilisée est le document BREF de la production de verre (table 3.1) -version 2008. Seule la dernière version de 2012 est actuellement disponible (la version de 2008 n'est pas disponible). Dans le document du BREF -version 2012, la table 3.14 fournit des résultats d'émission pour des fours à verre creux avec et sans système d'abattement des particules. Il en est déduit que le facteur d'émission présenté dans le

BREF se réfère uniquement aux fours et n'intègre donc pas les émissions complémentaires relatives aux autres activités comme la manipulation des produits et matières premières.

Les émissions de particules relatives aux fours sont incluses dans la section 1A2f-glass.

Les émissions de particules relatives à la manipulation des produits minéraux sont prises en compte dans le chapitre 2A5 « mineral product handling ».

Logigramme du processus d'estimation des émissions (CO<sub>2</sub>)

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
27/12/2022	EF	29/01/2023	JV

## AUTRES PROCÉDES AVEC DECARBONATATION

Ce paragraphe permet d'introduire la méthode de calcul des différentes sources émettrices de CO<sub>2</sub> en termes de décarbonatation qui ne sont pas comptées dans d'autres secteurs.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2A4d
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension CITEPA)	040631
CE / directive IED	Plusieurs rubriques
CE / E-PRTR	Plusieurs rubriques
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up intégral (toutes les installations sont considérées individuellement)	Généralement spécifiques de chaque installation considérée individuellement

### Niveau de méthode :

Rang GIEC 3

### Références utilisées :

[19] DRIRE/DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Afin d'assurer la totale exhaustivité dans la prise en compte des émissions de CO<sub>2</sub> induites par l'utilisation de matières carbonées et carbonatées, une analyse fine de l'ensemble des 10 000 installations françaises soumises au système déclaratif a été réalisée afin de définir l'ensemble des secteurs utilisateurs de carbonates.

Les émissions de CO<sub>2</sub> 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.

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 avec utilisation de calcaire, de carbonate de calcium ou de bicarbonate de sodium (CRF 2G4)
- utilisation d'urée par les systèmes de traitement des NO<sub>x</sub> (déNO<sub>x</sub>) 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 CO<sub>2</sub> induites par la décarbonatation car ce phénomène se produit pour des températures avoisinant 800°C.

#### Production d'émail

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.

### Méthode d'estimation des émissions de GES :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

##### Production d'émail

De 1999 à 2010, les émissions de CO<sub>2</sub> sont disponibles pour les sites de production d'émail via la déclaration annuelle de polluants [19]. Avant cette date, faute de données, le facteur d'émission déterminé en 1999 est reporté afin de déterminer les émissions de CO<sub>2</sub>.

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue.

**Emissions de N2O**

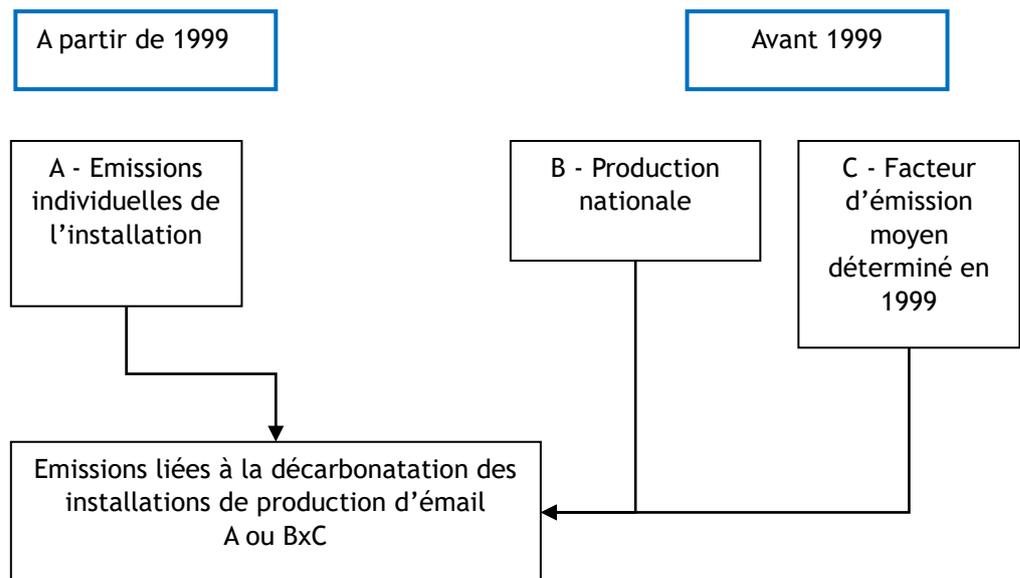
Il n'y a pas d'émission attendue.

**Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.

Logigramme du processus d'estimation des émissions - Production d'email



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
01/12/2022	EF	291/01/2023	JV

## PRODUCTION DE CERAMIQUES FINES

Cette section concerne uniquement les émissions liées au processus de décarbonation dans les installations de production de céramiques fines. La partie relative à la combustion des installations de production de céramiques fines est traitée dans la section relative à la combustion dans l'industrie manufacturière.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.A.4-a
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension CITEPA)	040629
CE / directive IED	3.5 (installations de capacité de production supérieure à 75 tonnes par jour et/ou de capacité de four de plus de 4 m <sup>3</sup> )
CE / E-PRTR	3g
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production nationale de céramiques fines	Facteur d'émission CO <sub>2</sub> national de décarbonation ou données spécifiques des installations

### Niveau de méthode :

Rang GIEC 2/3 du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [251] Confédération des Industries céramiques de France - Chiffres clés de la profession - statistiques annuelles (confidentielles)
- [1191] Commission européenne - 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) n° 601/2012 de la Commission

### Caractéristiques de la catégorie (spécifique NIR) :

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 désaéragé (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, jaune/rouge par le fer, brun par le manganèse, rose/pourpre par le chlorure d'or.

### Méthode générale d'estimation des émissions :

Le CO<sub>2</sub> lié à la décarbonatation de ce secteur d'activité provient de la calcination du calcaire, de la dolomie et des autres carbonates présents dans les matières premières, ainsi que du calcaire et des autres carbonates utilisés pour la réduction des émissions de polluants atmosphériques, et des additifs organiques.

Les émissions sont, soit déclarées directement [19], soit recalculées à partir de la production et d'un facteur d'émission par défaut [1191].

La production nationale de céramiques fines provient de la Confédération des Industries céramiques de France [251]. A partir de 2013, la valeur de production nationale n'est plus communiquée par la Confédération. Afin d'estimer la production nationale, le ratio moyen « production nationale / somme des productions déclarées par les sites industriels » de la période 2004 à 2012 est appliqué à la somme des productions déclarées chaque année depuis 2013 par les sites industriels.

### Méthode d'estimation des émissions de GES :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Le CO<sub>2</sub> lié à la décarbonatation a une provenance chimique et il provient de la transformation du calcaire (CaCO<sub>3</sub>) en CO<sub>2</sub> 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.

**Emissions de CH4**

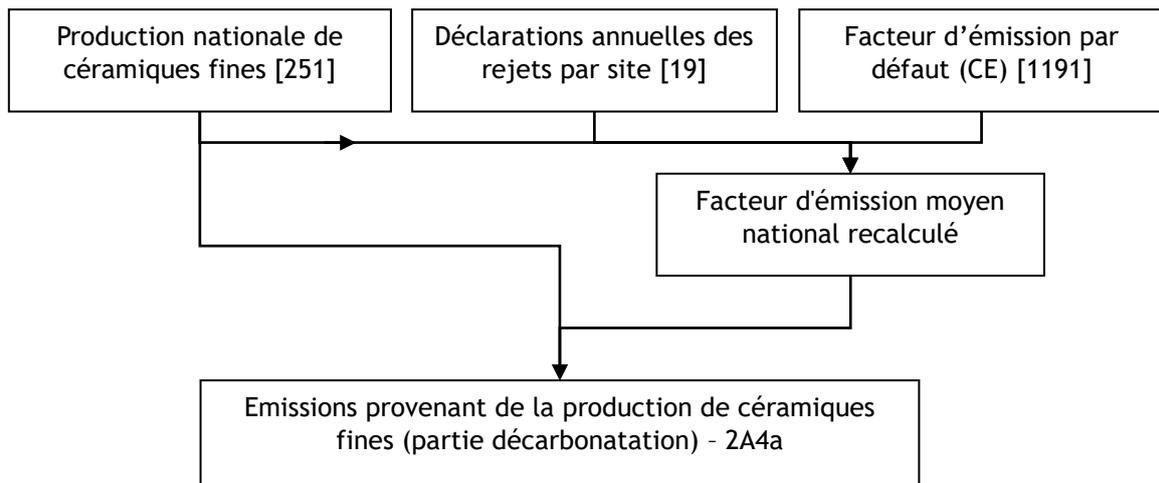
Non concerné.

**Emissions de N2O**

Non concerné.

**Emissions de Gaz fluorés**

Non concerné.

**Logigramme du processus d'estimation des émissions.**

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
27/12/2022	EF	29/01/2023	JV

## PRODUCTION DE TUILES ET BRIQUES

Cette section concerne uniquement les émissions de CO<sub>2</sub> liées au phénomène de décarbonatation dans les installations de production de tuiles et briques. La partie relative aux émissions provenant de la combustion dans les installations de production de tuiles et briques est traitée dans la section relative à la combustion dans l'industrie manufacturière.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.A.4a
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension CITEPA)	040628
CE / directive IED	3.5 (installations de capacité de production supérieure à 75 tonnes par jour et/ou de capacité de four de plus de 4 m <sup>3</sup> )
CE / E-PRTR	3g
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production nationale de tuiles et briques	Facteur d'émission CO <sub>2</sub> national de décarbonatation ou données spécifiques des installations

### Niveau de méthode :

Rang GIEC 2/3 du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [241] FFTB (Fédération Française des Tuiles et Briques) - statistiques annuelles
- [242] CTTB (Centre Technique des Tuiles et Briques) - Données internes
- [467] Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction (CTMNC) - Données internes relatives à la composition des matériaux, 2011

### Caractéristiques de la catégorie :

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.

### Méthode générale d'estimation des émissions :

Le CO<sub>2</sub> lié à la décarbonatation de ce secteur d'activité provient de la calcination du calcaire contenu dans les argiles utilisées, ou ajouté aux matières premières (notamment dans le cas d'argile ferrugineuse pour réduire la dilatation à l'humidité [467]). La teneur en calcaire des argiles utilisées dans le procédé de fabrication varie en fonction du lieu d'extraction. Il peut aller de 0% (argile ferrugineuse) à 23% (argile très calcaire).

Les émissions sont, soit déclarées directement [19], soit recalculées à partir de la production et d'un facteur d'émission national [242].

La production nationale de tuiles et briques provient de la Fédération des Tuiles et Briques [241] et des déclarations annuelles [19].

### Méthode d'estimation des émissions de GES :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Le CO<sub>2</sub> de la décarbonatation a une provenance chimique et il provient de la transformation du calcaire (CaCO<sub>3</sub>) en CO<sub>2</sub> 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 SEQE-UE. Ces émissions déclarées sont vérifiées par un vérificateur indépendant, assurant ainsi un niveau qualitatif plus élevé des estimations réalisées. Par ailleurs, un contrôle de cohérence est effectué entre les émissions déclarées par les sites soumis au SEQE-UE et le calcul effectué avec le facteur d'émission communiqué par la profession [242].

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Non concerné.

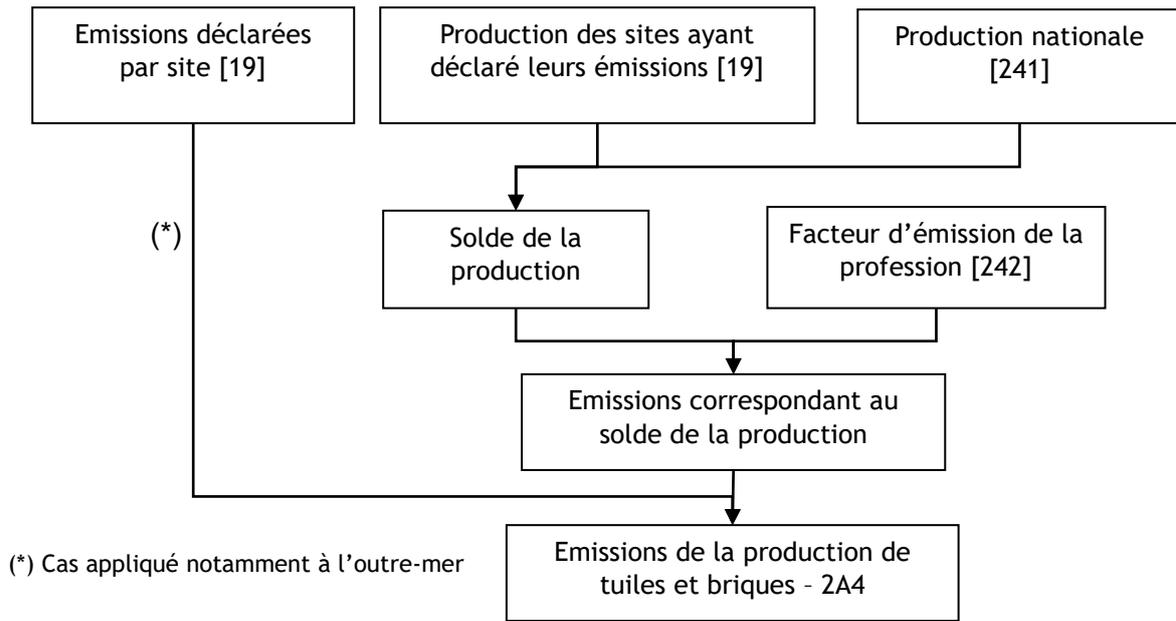
#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Non concerné.

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Non concerné.

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
29/01/18	NT	01/02/2018	JV

## UTILISATION DU CARBONATE DE SODIUM ET DU BICARBONATE DE SODIUM

Cette section traite des émissions liées à l'utilisation du carbonate de sodium et du bicarbonate de sodium.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.A.4
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension CITEPA)	04.06.19
CE / directive IED	4.2.d
CE / E-PRTR	4biv
CE / directive GIC	(hors champ)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production totale nationale, imports et exports	Facteur d'émission par défaut

### Niveau de méthode :

CO<sub>2</sub> : Rang 1

### Références utilisées :

[240] Fédération des Chambres Syndicales de l'Industrie du Verre - Communication de données internes

[244] GIEC - Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 2 - Edition 1996 page 2.8

### Caractéristiques de la catégorie (NIR) :

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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (NIR) :

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.

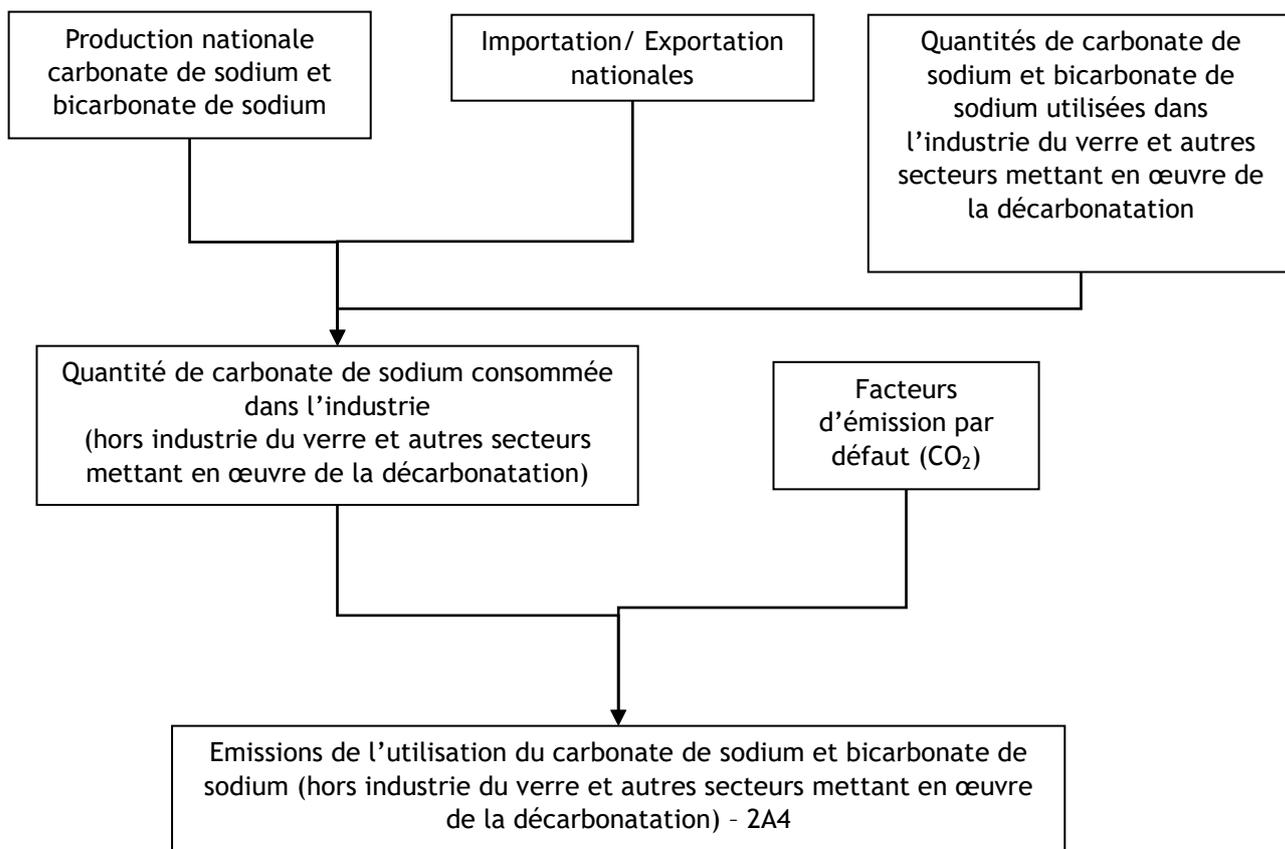
Pour éviter les doubles comptes dans le calcul des émissions, les quantités de carbonate et bicarbonate de sodium utilisées dans les secteurs précédemment cités sont retirées de la consommation nationale. Ainsi, connaissant les quantités de carbonate et de bicarbonate de sodium utilisées dans l'industrie du verre [240] et les autres secteurs, les quantités à prendre en compte sont déduites.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont déterminées au moyen de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices du GIEC [244].

#### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
05/02/2024	RK	14/02/2024	JV

## STOCKAGE ET MANIPULATION DES PRODUITS MINÉRAUX

Cette section décrit les émissions de particules induites par le stockage et la manipulation de produits minéraux. Seules les émissions de particules sont générées par cette activité.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	-
CEE-NU / NFR	2A5c
SNAPc (extension CITEPA)	040617
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production de produits minéraux	Facteur d'émission provenant de la littérature

### Niveau de méthode :

Rang 2

### Références utilisées :

- [190] Chambre Syndicale Nationale des Fabricants de Chaux Grasses et Magnésiennes - Statistiques annuelles de production de chaux grasses (aériennes) et magnésiennes
- [218] SFIC (Syndicat Français de l'Industrie Cimentière) - données annuelles de production de clinker et de ciment
- [241] FFTB (Fédération Française des Tuiles et Briques) - Statistiques annuelles
- [251] Confédération des Industries céramiques de France - Chiffres clés de la profession - statistiques annuelles (confidentielles)
- [364] Syndicat National des Industries du Plâtre - communication de données internes relatives à la production annuelle
- [457] Fédération des industries du verre - Rapport d'activité annuel
- [1070] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019 - Chapter 2A5c - storage, handling and transport of mineral products

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

La liste des productions de produits minéraux prises en compte est la suivante :

- Production de ciment (il semble plus pertinent de retenir la production de ciment et non de clinker car des ajouts de matériaux sont faits entre ces deux produits). Les données de production de ciment proviennent de la fédération de l'industrie cimentière [218] ;

- Production de plâtre. Les données de production de plâtre proviennent de la fédération de l'industrie du plâtre [364] ;
- Production de tuiles et briques. Les données de production de tuiles et briques proviennent de la fédération des tuiles et briques [241] ;
- Production de céramique. Les données de production de céramique proviennent de la fédération des céramiques [251] ;
- Production de chaux (uniquement chaux hydraulique et aérienne/magnésienne, la production de chaux des sucreries n'est pas retenue). Les données de production de chaux de la fédération des chaux grasses et magnésiennes [190] ;
- Production de verre (afin de ne pas double-compter les émissions, le calcin externe n'est pas pris en compte donc la production retenue correspond à la production de verre neuf telle que retenue pour le procédé du verre 2A3). Les données de production de verre et de calcin externe proviennent de la fédération du verre [457].

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) : RAS

Le stockage et la manipulation des produits minéraux ne génèrent pas d'émissions de gaz à effet de serre.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

Les émissions présentées dans cette section sont celles relatives au stockage et à la manipulation des produits minéraux.

Seules des émissions de particules sont générées.

#### **Emissions de particules**

Le Guidebook EMEP 2019 [1070] précise en son chapitre 2A5c (stockage, manipulation et transport de produits minéraux) les sources d'émission de particules à retenir (méthode Tier 2) : le stockage des produits et la manipulation.

#### Stockage de produits minéraux

Pour le stockage des produits minéraux, le facteur d'émission de particules est exprimé par t/ha/an. Aucune information existe sur les types et surfaces de stockage. De plus, le Guidebook EMEP 2019 n'est pas suffisamment clair pour savoir si cette source est à quantifier séparément. Ainsi, compte tenu de ces incertitudes, les émissions du stockage des produits minéraux ne sont pas quantifiées.

#### Manipulation de produits minéraux

Pour la manipulation des produits minéraux, la table 3.4 du chapitre 2A5a du Guidebook EMEP 2019 [1070] fournit les facteurs d'émission des particules liées à la manipulation des produits minéraux. Les produits minéraux retenus sont ceux présentés précédemment. Toutefois, la donnée d'activité correspond à la quantité de matériaux manipulés (matières premières), c'est-à-dire à la quantité de matériaux produits faute de données sur les quantités de matières premières.

Les facteurs d'émission sont ceux présentés dans le Guidebook EMEP/EEA 2019 [1070-tier 2]. Ils sont présentés dans le tableau suivant. Pour les  $PM_{1,0}$ , il est fait l'hypothèse que le facteur d'émission est le même que celui des  $PM_{2,5}$ .

	Facteur d'émission (g/t produits minéraux)
TSP	12
$PM_{10}$	6
$PM_{2,5}$	0,6
$PM_{1,0}$	0,6

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
26/02/2024	RK	26/02/2024	JV

## CHANTIERS ET BTP

Cette section concerne les émissions engendrées par les chantiers de BTP à l'exception des engins motorisés couverts par la section relative à la combustion des sources mobiles.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	-
CEE-NU / NFR	2.A.5
SNAPc (extension CITEPA)	04.06.24
CE / directive IED	(hors champ)
CE / E-PRTR	(hors champ)
CE / directive GIC	(hors champ)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Superficie des chantiers de travaux publics et superficie des bâtiments en chantier	Facteurs d'émission par défaut avec des caractéristiques nationales

### Niveau de méthode :

Rang 1

### Références utilisées :

- [49] TNO - Etude CEPMEIP relative aux émissions de particules, 2001
- [66] EPA - AP42. Janvier 1995
- [68] OFEFP - Mesures pour la réduction des émissions de PM<sub>10</sub>. Document Environnement n° 136 - juin 2001
- [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
- [103] AEAT - source apportionment of airborne particulate matter in the UK (70 to 96, PM<sub>10</sub> - PM<sub>2,5</sub> - PM<sub>0,1</sub>), third report of the quality of urban air review group - January 1999
- [197] MAP/SCEES - Publications Agreste. "L'utilisation du territoire".
- [282] Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP), communication personnelle, octobre 2006
- [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)

[1277] Données et études statistiques du Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires - Base de diffusion des données Dido - Listes des permis de construire et autres autorisations d'urbanisme

### Caractéristiques de la catégorie (IIR) :

L'activité des chantiers de BTP correspond à la construction d'immeubles, de maisons, de routes, etc. Les émissions des engins motorisés sont exclues de cette section et sont couvertes par la section relative à la combustion des sources mobiles.

### Méthode générale d'estimation des émissions (IIR) :

En France, les superficies en chantier sont rapportées annuellement par l'enquête de l'AGRESTE [197] jusqu'en 2008. Les surfaces fournies concernent les routes et gros œuvres ainsi que les autres petits chantiers. Après cette date et jusqu'à 2022, la surface des bâtiments est délivrée par le SDES via la base de données sit@del2 [559]. A partir de l'année 2023, les données de surface sont récupérées depuis la nouvelle base de diffusion de données Dido [1277]. Un traitement approprié est effectué pour raccorder les deux séries en se basant sur les quelques années communes.

Selon la FNTP [282], deux catégories sont distinguées pour cette activité : d'une part, la construction de bâtiments et d'autre part, les chantiers de travaux publics. Au niveau national, la répartition de l'activité entre ces deux catégories est effectuée dans les proportions respectives 2/3 - 1/3.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Les émissions de TSP pour l'activité « bâtiments » sont estimées à partir d'un facteur d'émission moyen de l'EPA [66], estimé à partir de la mesure de la concentration de particules autour d'un site de construction d'appartements et de centres commerciaux. Ce facteur d'émission correspondant à un climat semi-aride, auquel est appliqué un abattement de 50% pour tenir compte du climat tempéré de la France. Cet abattement est déterminé sur des données d'AEAT [103] et sur les précipitations annuelles moyennes en France et au Royaume-Uni. D'autre part, cette donnée de facteur d'émission fait intervenir le nombre de mois d'activité sur un chantier. Il est considéré que le nombre de mois d'activité est compris entre 1 et 6 mois, soit 3,5 mois d'activité en moyenne.

Pour les bâtiments, les facteurs d'émission sont calculés en multipliant le facteur d'émission de l'EPA par le facteur d'abattement (38%). Le facteur d'abattement a été calculé comme un ratio, basé sur les précipitations moyennes en France (760mm) et au Royaume-Uni (1000mm) [103].

En ce qui concerne les travaux publics, les émissions de TSP sont estimées à l'aide d'un facteur d'émission moyen provenant du CEPMEIP [49].

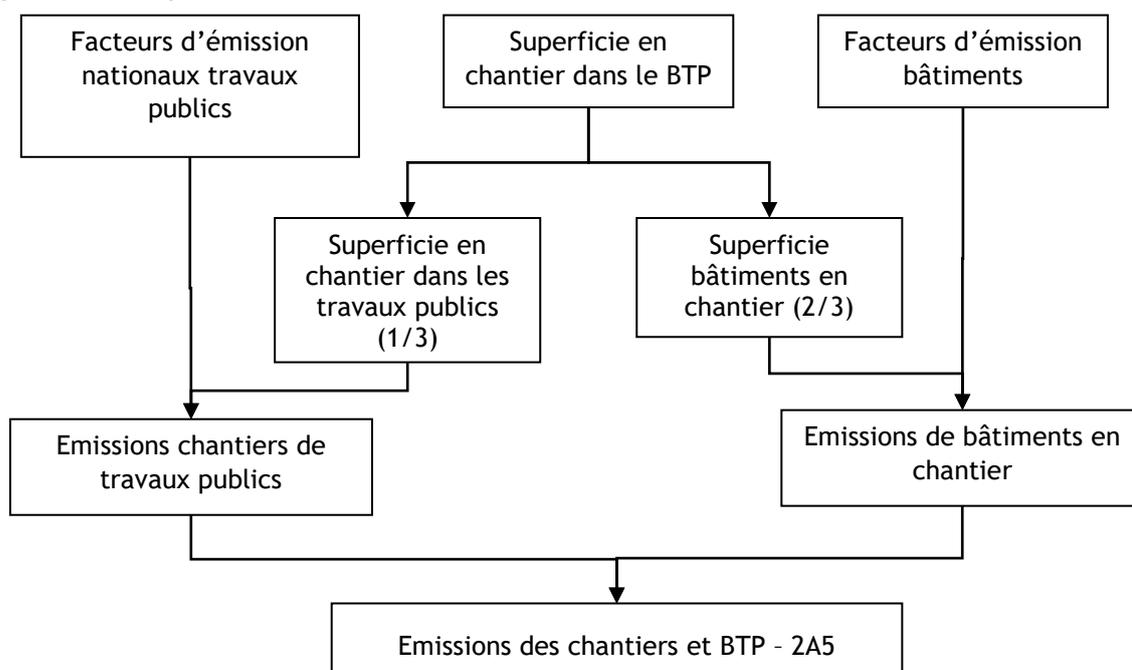
#### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Les émissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>1,0</sub> sont estimées à partir de facteurs d'émission moyens basés sur les données de diverses études [66, 68, 81]. Pour la distribution de la taille des PM<sub>10</sub>, la part de 18,6% dans les TSP est retenue en moyennant les valeurs 22%, 20% et 13,7% issues de ces études. Pour les PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>1,0</sub>, les valeurs retenues sont respectivement 6,2% et 2,2% [103].

La même granulométrie est retenue pour le bâtiment et les travaux publics.

Tranche granulométrique	% répartition des TSP
PM <sub>10</sub>	18,6
PM <sub>2,5</sub>	6,2
PM <sub>1,0</sub>	2,2

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
06/02/2024	RK	14/02/2024	JV

## EXPLOITATION DES CARRIERES

Cette section concerne les émissions engendrées par l'exploitation des carrières à l'exception des engins motorisés couverts par la section 1A2 relative aux sources mobiles.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.H.2
CEE-NU / NFR	2.A.5.a
SNAPc (extension CITEPA)	040623
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	3b
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production nationale par type de roches de carrières	Facteurs d'émission nationaux

### Niveau de méthode :

Rang 2.

### Références utilisées :

[352] UNICEM - Rapport annuel statistique à partir de 1999

[353] UNICEM - Communication de données internes, 2001

[1010] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 2.A.5.a Quarrying and mining of minerals other than coal

### Caractéristiques de la catégorie (IIR) :

Les industries extractives telles que les carrières sont génératrices de poussières. Toute opération de fragmentation et de réduction granulométrique entraîne une production d'éléments fins. Toutefois, de nombreuses solutions de dépoussiérage sont proposées pour réduire les émissions de poussières et plus particulièrement pour limiter les effets sur la santé du personnel.

Ces émissions sont émises en particulier durant les trois phases suivantes :

- Fragmentation : forage, abattage, concassage, broyage,
- Séparation : criblage, stockage,
- Transport : roulage, manutention, expédition.

Les systèmes de dépoussiérage dépendent du poste (aspiration, filtration, pulvérisation d'eau avec ou sans adjuvant, etc.).

### Méthode générale d'estimation des émissions (IIR) :

Les données de production des produits de carrières sont fournies dans les rapports annuels de l'UNICEM [352]. D'après l'UNICEM [353], l'ensemble de la production des matériaux de construction et produits de carrières est émetteur de poussières.

La méthode utilisée pour estimer les émissions de particules est décrite dans le guide EMEP/EEA 2019 [1010]. Cette méthode nécessite de nombreuses données qui sont décrites dans les tableaux ci-dessous.

#### Données de production et du parc des carrières

Les données de production sont fournies par l'UNICEM [352] par type de roches et présentées dans le Tableau 15.

Tableau 15 : Données de production

Année	Production de granulats (Mg)		
	issus de l'extraction de roches massives	issus de l'extraction de roches meubles	issus du recyclage de matériau
	MAS	MEU	REC
1990	196 083 720	159 531 728	11 160 000
1991	196 083 720	159 531 728	11 160 000
1992	203 262 591	167 277 409	11 460 000
1993	189 411 948	155 908 052	10 680 000
1994	201 179 277	165 480 723	11 340 000
1995	201 922 345	163 812 655	13 265 000
1996	184 910 188	150 909 812	12 180 000
1997	189 879 758	154 625 242	12 495 000
1998	196 631 767	159 453 233	12 915 000
1999	208 650 754	166 532 378	14 816 867
2000	218 670 000	180 570 000	16 760 000
2001	221 600 000	175 150 000	18 250 000
2002	215 290 000	167 970 000	17 740 000
2003	217 400 000	165 470 000	17 130 000
2004	223 170 000	168 080 000	16 750 000
2005	222 780 000	168 640 000	19 580 000
2006	233 090 000	174 360 000	22 550 000
2007	242 950 000	180 450 000	22 600 000
2008	236 770 000	171 610 000	22 620 000
2009	209 440 000	146 290 000	20 270 000
2010	201 860 000	141 290 000	23 000 000
2011	205 220 000	152 390 000	25 000 000
2012	196 601 000	138 281 000	24 700 000
2013	204 800 000	135 800 000	26 400 000
2014	198 940 000	126 598 000	23 428 000
2015	184 423 000	117 875 000	25 266 000
2016	183 960 000	120 382 000	25 671 000
2017	186 109 000	124 072 000	25 671 000

2018	195 998 000	126 365 000	31 890 000
2019	198 951 000	126 717 000	33 298 000
2020	183 627 000	117 851 000	29 676 000
2021	197 525 000	130 398 000	20 737 000
2022	191 174 000	121 633 000	28 528 000

La distribution des carrières par capacité de production en nombre et en quantité produite a été déterminée à partir d'une enquête réalisée en 2012 par l'UNICEM et est présentée dans les Tableau 16 et Tableau 17. Cette distribution est considérée constante dans le temps.

Tableau 16 : Distribution des carrières par capacité de production (% de la production totale par type de roche)

	MAS	MEU	REC
Grandes carrières (Prod. > 500 Mt)	31%	16%	0%
Carrières moyennes (100 Mt < Prod. < 500 Mt)	58%	69%	20%
Petites carrières (Prod. < 100 Mt)	10%	16%	80%

Tableau 17 : Distribution des carrières par capacité de production (% du nombre total de carrières par type de roche)

	MAS	MEU	REC
Grandes carrières (Prod. > 500 Mt)	5%	2%	0%
Carrières moyennes (100 Mt < Prod. < 500 Mt)	41%	39%	5%
Petites carrières (Prod. < 100 Mt)	54%	59%	95%

### Données de transport

Les distances de transport par carrière ont été estimées pour 2010 par type et taille de carrières. À partir de ces données, des distances par tonne produite ont été calculées. Ces distances sont considérées constantes dans le temps et présentées dans le Tableau 18. Les distances pour les carrières de roche meuble et de recyclage sont très faibles, voire nulles, car des systèmes de convoyeurs sont préférentiellement utilisés.

Tableau 18 : Distances parcourues en camion par tonne produite (m/tonne)

	MAS	MEU	REC
Grandes carrières (Prod. > 500 Mt)	42,1	0	0
Carrières moyennes (100 Mt < Prod. < 500 Mt)	94,8	13,9	0
Petites carrières (Prod. < 100 Mt)	564,3	69,3	0

Le taux de route revêtue a été obtenu dans la même enquête et est présenté par catégorie de carrières dans le Tableau 19. Ces résultats sont considérés constants dans le temps.

Tableau 19 : Taux de route revêtue par catégorie de carrières

	MAS	MEU	REC
Grandes carrières (Prod. > 500 Mt)	25%	0%	-
Carrières moyennes (100 Mt < Prod. < 500 Mt)	0%	0%	-
Petites carrières (Prod. < 100 Mt)	0%	0%	-

L'utilisation et l'efficacité de l'arrosage des routes sont présentées dans le Tableau 20 par catégorie de carrières pour l'année 2010. Une évolution linéaire est considérée pour le taux d'utilisation entre

1990 et 2010 avec une utilisation à 0% en 1990. Depuis 2010, les taux d'utilisation sont considérés constants.

Tableau 20 : Arrosage des routes non revêtues - Utilisation et efficacité

Arrosage des routes non revêtues		MAS	MEU	REC
Efficacité (%)		55%	70%	-
Utilisation (%)	Grandes carrières (Prod. > 500 Mt)	95%	95%	-
	Carrières moyennes (100 Mt < Prod. < 500 Mt)	91%	91%	-
	Petites carrières (Prod. < 100 Mt)	50%	50%	-

Les poids des véhicules de transport de granulats sont présentés dans le Tableau 21 par catégorie de carrières. Ces valeurs sont considérées constantes dans le temps.

Tableau 21 : Poids moyen des véhicules de transport

		MAS	MEU	REC
Poids moyen des véhicules (t)	Grandes carrières (Prod. > 500 Mt)	71	74	-
	Carrières moyennes (100 Mt < Prod. < 500 Mt)	51	45	-
	Petites carrières (Prod. < 100 Mt)	30	30	-

Les parts de fines en surface sur les routes revêtues et non revêtues sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 22 : Parts de fines en surface sur les routes

	MAS	MEU	REC
Part de fines - routes non revêtues (%)	2%	1%	2%
Part de fines - routes revêtues (g/m <sup>2</sup> )	5	5	5

#### Données de traitement

Les flux pour les concasseurs et cribles primaires, secondaires et tertiaires ont été déterminés à partir d'une enquête réalisée en 2018 et sont considérés constants dans le temps. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 23 : Flux par équipement par type de roche

	MAS	MEU	REC
Unité primaire			
Concasseur primaire (% de la production totale)	90%	15%	100%
Crible primaire (% de la production totale)	100%	100%	100%
Point de transfert primaire (% de la production totale)	290%	215%	300%
Unité secondaire			
Concasseur secondaire (% de la production totale)	70%	60%	70%
Crible secondaire (% de la production totale)	90%	60%	100%
Point de transfert secondaire (% de la production totale)	160%	120%	170%
Unité tertiaire			
Concasseur tertiaire (% de la production totale)	50%	60%	0%
Crible tertiaire (% de la production totale)	90%	60%	0%
Point de transfert tertiaire (% de la production totale)	140%	120%	0%

Les nombres d'unités primaires, secondaires et tertiaires ont été déterminés dans la même enquête par catégorie de carrières.

Tableau 24 : Nombre d'unités primaires, secondaires et tertiaires par catégorie de carrières

	MAS	MEU	REC
Grandes carrières (Prod. > 500 Mt)			
Unité primaire	100%	100%	100%
Unité secondaire	100%	100%	100%
Unité tertiaire	75%	100%	0%
Carrières moyennes (100 Mt < Prod. < 500 Mt)			
Unité primaire	100%	100%	100%
Unité secondaire	100%	100%	100%
Unité tertiaire	75%	100%	0%
Petites carrières (Prod. < 100 Mt)			
Unité primaire	100%	100%	100%
Unité secondaire	50%	50%	0%
Unité tertiaire	0%	0%	0%

Le taux d'utilisation des technologies d'abattement a également été obtenu via une enquête réalisée en 2010. Une évolution linéaire a été considérée entre 1990 et 2010, avec les différents taux d'utilisation considérés nuls en 1990. Depuis 2010, les taux d'utilisation sont considérés constants. Le Tableau 25 et le

Tableau 26 présentent respectivement les taux d'utilisation des technologies d'abattement pour les concasseurs et les cribles.

Tableau 25 : Taux d'utilisation des technologies d'abattement pour les concasseurs

	MAS	MEU	REC
Grandes carrières (Prod. > 500 Mt)			
Bardage partiel (partial enclosure)	79%	79%	79%
Lavage sur site (water spray)	24%	24%	24%
Abattement total <sup>1</sup>	71%	71%	71%
Carrières moyennes (100 Mt < Prod. < 500 Mt)			
Bardage partiel (partial enclosure)	61%	61%	61%
Lavage sur site (water spray)	22%	22%	22%
Abattement total <sup>1</sup>	57%	57%	57%
Petites carrières (Prod. < 100 Mt)			
Bardage partiel (partial enclosure)	0%	0%	0%
Lavage sur site (water spray)	0%	0%	0%
Abattement total <sup>1</sup>	0%	0%	0%

<sup>1</sup> Une efficacité de 85% est considérée pour le bardage partiel et une efficacité de 50% pour le lavage sur site.

Tableau 26 : Taux d'utilisation des technologies d'abattement pour les cribles

	MAS	MEU	REC
Grandes carrières (Prod. > 500 Mt)			
Étanchéité tamisage (covered screen)	39%	39%	39%
Criblage humide (wet screening)	0%	70%	0%
Abattement total <sup>1</sup>	20%	76%	20%
Carrières moyennes (100 Mt < Prod. < 500 Mt)			
Étanchéité tamisage (covered screen)	26%	26%	26%
Criblage humide (wet screening)	0%	70%	0%
Abattement total <sup>1</sup>	13%	74%	13%
Petites carrières (Prod. < 100 Mt)			
Étanchéité tamisage (covered screen)	0%	0%	0%
Criblage humide (wet screening)	0%	0%	0%
Abattement total <sup>1</sup>	0%	0%	0%

<sup>1</sup> Une efficacité de 50% est considérée pour l'étanchéité tamisage et une efficacité de 100% pour le criblage humide.

#### Données de manipulation des stocks

L'hypothèse selon laquelle les agrégats sont manipulés deux fois avant de sortir de la carrière a été prise (lorsqu'ils sont amenés aux stocks et lorsqu'ils sont enlevés des stocks).

Les taux d'humidité des stocks considérés sont de 2% pour les carrières de roche massive (MAS) et les installations de recyclage (REC) et de 6% pour les carrières de roche meuble (MEU).

#### Données liées à l'érosion des stocks

Les données utilisées pour le calcul des émissions liées à l'érosion des stocks sont présentées dans le Tableau 27.

Tableau 27 : Données de calcul des émissions liées à l'érosion des stocks

Paramètre		Valeur
Angle de repos (°)		30°
Nombre de piles de stockage	Grandes carrières (Prod. > 500 Mt)	4
	Carrières moyennes (100 Mt < Prod. < 500 Mt)	8
	Petites carrières (Prod. < 100 Mt)	26
Hauteur des piles de stockage (m)		10
Densité apparente		1,6

Le contenu en part de fines des piles de stockage est considéré identique à celui des routes non revêtues.

#### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

##### Émissions de poussières totales en suspension (TSP)

Les émissions de TSP sont estimées pour les carrières de roches massives, pour les carrières de roches meubles et pour les produits issus du recyclage. Les facteurs d'émission utilisés ont été estimés par la mise en œuvre de la méthodologie décrite dans le guide EMEP/EEA 2019 [1010] appliquée à la France entière. Les facteurs d'émission tiennent compte de l'évolution des systèmes de dépoussiérage mis en place en supposant qu'aucun n'existait en 1990.

Ces facteurs d'émission correspondent à des valeurs moyennes et ne sont pas représentatifs des conditions locales. Dans le cadre du développement d'un inventaire à l'échelle locale,

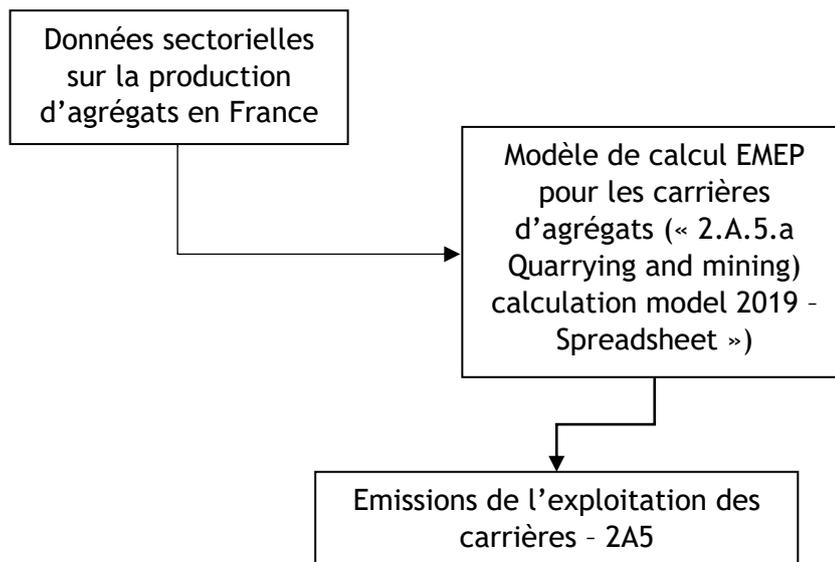
il est donc recommandé de mettre en œuvre la méthodologie proposée dans le guide EMEP/EEA [1010].

### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Les émissions de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont estimées avec la même approche que les TSP, au moyen de facteurs d'émission développés à l'aide de la méthodologie décrite dans le guide EMEP/EEA [1010].

Les émissions de PM<sub>1,0</sub> ne sont pas estimées.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



## Industries chimiques (procédés)

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
05/01/2024	GB	14/02/2024	JV

## AMMONIAC

Cette section porte sur les émissions liées à la production d'ammoniac.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.B.1
CEE-NU / NFR	2.B.1
SNAPc (extension CITEPA)	04.04.03
CE / directive IED	4.2.a
CE / E-PRTR	4bi
CE / directive GIC	(hors champ)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production totale nationale	Utilisation de facteurs d'émission spécifiques à la France à partir de données connues par site ou de facteurs d'émission par défaut

### Niveau de méthode :

CO<sub>2</sub> : Rang 3 depuis 2004. De 1990 à 2003, rang 2 du fait de l'utilisation des activités par site et du report du FE spécifique par site de 2004.

NO<sub>x</sub> et COVNM : Rang 2.

NH<sub>3</sub> : Rang 3 depuis 2003. De 1990 à 2002, rang 2 du fait de la prise en compte de la production nationale et du report du FE moyen calculé pour 2003.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [50] Données communiquées directement par les exploitants au CITEPA
- [53] SESSI / INSEE - Bulletin mensuel de statistique industrielle
- [118] UIC - Rapport annuel sur l'évolution de l'industrie chimique en France
- [272] INSEE - Annuaire rétrospectif de la France - 1948 - 1988
- [945] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 2.B Chemical industry, table 3.7
- [1076] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 2.B Chemical industry, table 3.7

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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 entraîne la production de CO<sub>2</sub>, dont une partie est valorisée pour la synthèse d'urée ou la production de CO<sub>2</sub> liquéfié, et l'autre partie est rejetée directement à l'atmosphère. L'hydrogène, produit par reformage du méthane, est mis en réaction avec l'azote pour produire l'ammoniac, ce qui conduit à des rejets de NO<sub>x</sub>, COVNM, CO et de NH<sub>3</sub>.

Il y avait, en France, 7 sites de production en activité en 1990. Depuis 2009, il reste 4 sites en activité suite à la fermeture de 2 sites courant 2001 et un autre courant 2009.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

La production d'ammoniac totale provient de statistiques nationales pour les périodes 1960-1978 [272] et 1986-2006 [53], [118]. En l'absence d'information, une interpolation linéaire est mise en œuvre pour la période 1979-1985. Des productions par site ont été obtenues par communications des exploitants pour les années 1990, 1995, 1999 et suivantes [50]. Depuis 2007, la production d'ammoniac est obtenue exclusivement à partir des déclarations annuelles de rejets [19].

Les consommations de gaz naturel des vaporeformeurs et les émissions associées proviennent des déclarations à partir de 2004 [19]. Avant cette période, les consommations et émissions de la production d'ammoniac sont estimées à partir des données déclarées pour l'année 2004 et des productions fournies par site.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Deux spécificités sont à considérer quant au calcul des émissions de CO<sub>2</sub> :

- D'une part, le gaz naturel est utilisé en tant que matière première mais également en tant que combustible, dans des fours et des chaudières. Ces diverses consommations sont à l'origine d'émissions de CO<sub>2</sub>. Seules les émissions du CO<sub>2</sub> issues des consommations de gaz naturel, énergétiques et non énergétiques, des fours, sont comptabilisées dans cette partie. Pour information, les exploitants déclarent soit séparément les émissions procédé et combustion, soit l'ensemble des émissions sans distinction [19], auquel cas des communications nous permettent de les déterminer [50].
- D'autre part, pour certains sites, une partie du CO<sub>2</sub> émis est réutilisée pour la synthèse de l'urée ou la production de CO<sub>2</sub> liquéfié. Le CO<sub>2</sub> mis en œuvre pour fabriquer le produit (urée ou CO<sub>2</sub> liquéfié) est par la suite réémis après un stockage intermédiaire temporaire (exemple : hydrolyse de l'urée par les microorganismes du sol suite à son épandage en tant que fertilisant).

Conformément aux lignes directrices du GIEC 2006 :

- Les quantités de CO<sub>2</sub> réutilisées pour la production de CO<sub>2</sub> liquéfié sont comptabilisées dans le secteur de la production d'ammoniac alors que,
- Le CO<sub>2</sub> utilisé pour la production d'urée est comptabilisé dans les secteurs consommateurs d'urée (e.g. agriculture, etc.).

Depuis 2004, les émissions de CO<sub>2</sub> proviennent des déclarations annuelles de rejets [19] complétées par des échanges avec les exploitants [50]. Pour les années 1990 à 2003, les émissions de CO<sub>2</sub> sont recalculées par site, à partir du facteur émission spécifique à chaque installation de 2004 et de la production annuelle. La cohérence temporelle depuis 1990 est vérifiée par le fait que le facteur d'émission global est du même ordre de grandeur sur toute la série et par le fait que le périmètre des producteurs considérés est identique sur toute la série. Les quantités de CO<sub>2</sub> réutilisées pour la production de CO<sub>2</sub> liquéfié et d'urée sont également directement fournies par les exploitants [19, 50]. Avant 1990, les émissions sont déterminées à partir de la production nationale et du facteur d'émission national de 1990.

Il est à noter qu'un site de production, fermé en 2009, ne produisait pas l'hydrogène nécessaire au procédé mais l'achetait à un site voisin : ce site émettait donc peu de CO<sub>2</sub> au niveau de son procédé de production d'ammoniac comparé aux autres sites.

En 2013, la production d'ammoniac est entrée dans le champ d'application du système d'échange de quotas de gaz à effet de serre (émissions de CO<sub>2</sub> de procédé).

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Les émissions de NO<sub>x</sub> sont déterminées à partir d'un facteur d'émission par défaut issu du Guidebook EMEP/EEA [1076] pour la production d'ammoniac par vaporeformage.

#### **Emissions de COVNM**

Les émissions de COVNM sont déterminées à partir d'un facteur d'émission par défaut issu du Guidebook EMEP/EEA [1076] pour la production d'ammoniac par vaporeformage.

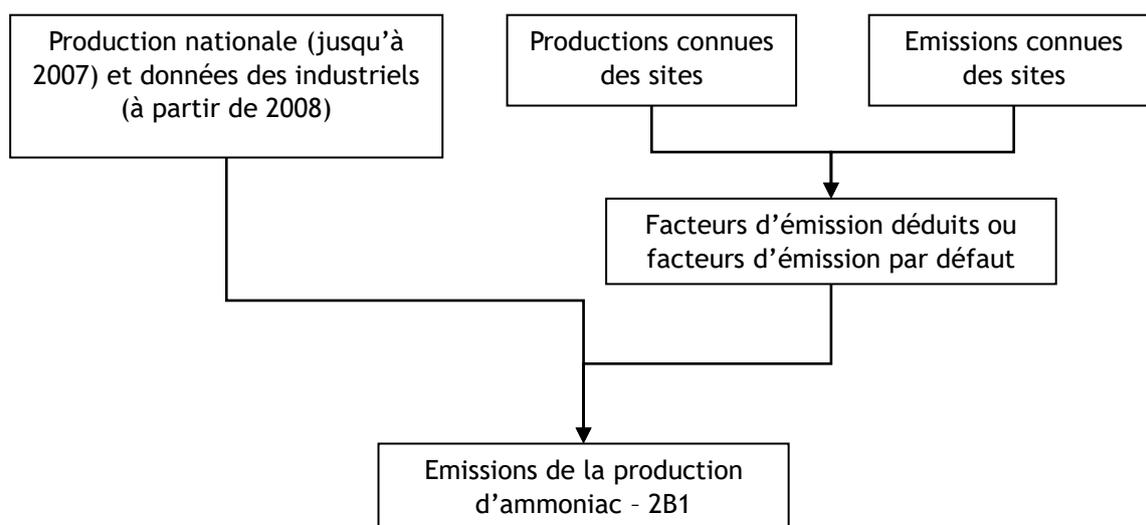
#### **Emissions de CO**

Les émissions de CO sont déterminées à partir d'un facteur d'émission par défaut issu du Guidebook EMEP/EEA [945] pour la production d'ammoniac par vaporeformage.

#### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont estimées au moyen de facteurs d'émission déterminés chaque année à partir des émissions déclarées par une partie des sites producteurs depuis 2003 [19]. Pour les années antérieures à 2003, le facteur d'émission global déterminé à partir des émissions déclarées en 2003 est appliqué à la production nationale.

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
19/01/2017	LC	06/02/2018	JV

## ACIDE NITRIQUE

Cette section porte sur les émissions liées à la production d'acide nitrique.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.B.2
CEE-NU / NFR	2.B.2
SNAPc (extension CITEPA)	04.04.02
CE / directive IED	4.2.b
CE / E-PRTR	4bi
CE / directive GIC	(hors champ)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production totale nationale	Utilisation, selon les polluants, de facteurs par défaut ou de facteurs d'émission spécifiques à la France à partir de données connues par site

### Niveau de méthode :

N<sub>2</sub>O : Rang 3

NO<sub>x</sub> : Rang 3

NH<sub>3</sub> : Rang 1

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[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

[272] INSEE - Annuaire rétrospectif de la France - 1948 - 1988

[733] Rhodia - Communication de données confidentielles. Octobre 2002

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

L'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) est produit par oxydation catalytique (toile de platine) de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) 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 (NO<sub>2</sub>) :  $2 \text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_2$
- Absorption de celui-ci dans l'eau (HNO<sub>3</sub>) :  $4 \text{NO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{HNO}_3$

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 (N<sub>2</sub>O) :

- 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 N<sub>2</sub>O, de NO<sub>x</sub> et de NH<sub>3</sub>.

#### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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].

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

##### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

La fédération sectorielle a communiqué au CITEPA les émissions par site pour 1990 et de 1999 à 2001 et une valeur d'émission pour l'ensemble des sites pour les années 1991 à 1998 [143]. Ces données ont été comparées par le CITEPA aux données disponibles dans les déclarations des rejets des industriels pour validation [19]. A ces valeurs sont ajoutées les émissions des installations d'un groupe [733] non inclus dans les statistiques de la fédération. La totalité des émissions liées à la production nationale est donc prise en compte sur la période 1990-2001, à partir de données collectées en bottom-up ou issues d'une approche bottom-up.

A partir de 2002, les émissions de chaque site du périmètre considéré sont disponibles dans les déclarations des rejets industriels [19]. L'ensemble de ces émissions est déterminé par les exploitants par mesure.

Il est à noter que depuis 2013, la production d'acide nitrique est entrée dans le système d'échange de quotas de gaz à effet de serre. Par ailleurs, en 2002, les industriels ont adopté un référentiel de Bonnes Pratiques approuvé par l'AFNOR [146] pour estimer les émissions de N<sub>2</sub>O des ateliers de fabrication d'acide nitrique.

#### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

##### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Les émissions de NO<sub>x</sub> sont estimées à l'aide d'un facteur d'émission déterminé de la façon suivante :

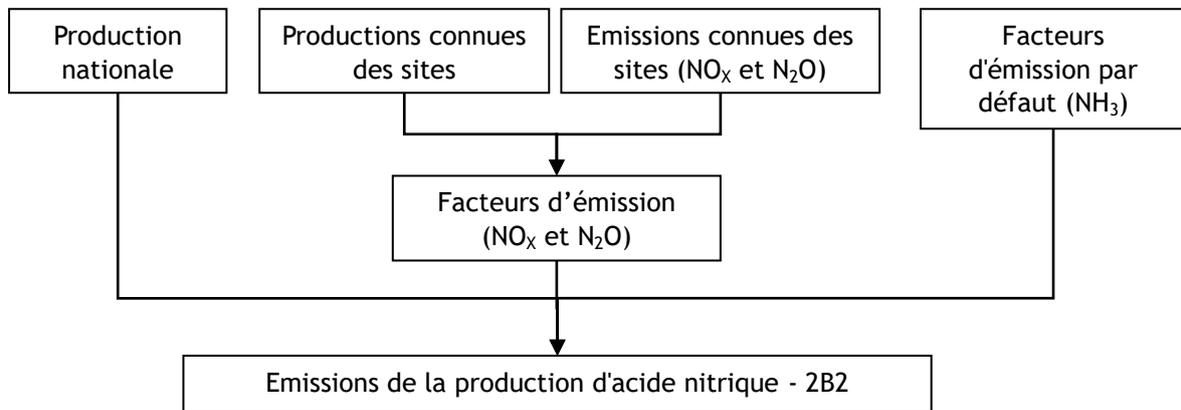
- Une étude du CITEPA [144] permet de connaître les facteurs d'émission moyens pour les années 1960 et 1970, les années intermédiaires de 1960 à 1989 sont interpolées ;
- Un bilan des émissions par site a été réalisé pour les années 1990, 1994, 1995 et chaque année depuis 2002 chaque année, à partir des déclarations des rejets des industriels [19]. Ce bilan par site permet de déduire un facteur d'émission moyen pour les années correspondantes ;

- Le facteur d'émission des années intermédiaires est interpolé.

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont calculées au moyen d'un facteur d'émission par défaut issu de la littérature [145].

#### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
01/02/2022	CJ	02/02/2022	JV

## PRODUCTION D'ACIDE ADIPIQUE

Cette section se rapporte à la fabrication d'acide adipique, qui engendre des émissions de N<sub>2</sub>O importantes.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2B3
CEE-NU / NFR	2B3
SNAPc (extension CITEPA)	040521
CE / directive IED	4.2b
CE / E-PRTR	4bii
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production totale nationale confidentielle	Communication personnelle du site de production, méthode spécifique

### Niveau de méthode :

Rang 3.

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[147] Rhodia PI Chalampé - Données confidentielles communiquées par le site

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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<sub>2</sub>O principalement et de NO<sub>x</sub> 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<sub>2</sub>O. Le gaz de procédé est épuré thermiquement.

L'atelier de destruction des N<sub>2</sub>O, installé depuis 1998 sur le site, permet la synthèse d'acide nitrique par absorption des NO<sub>x</sub> formés. Cet atelier est équipé d'un traitement catalytique des NO<sub>x</sub> avant rejet à l'atmosphère. Les émissions liées à la synthèse de l'acide nitrique sont traitées dans la section 2B2\_nitric acid.

Il est à noter que le site émet également du CO<sub>2</sub> qui provient de l'oxydation d'une partie des matières premières.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Les émissions, facteurs d'émission et la production (confidentielle) étaient communiquées directement par le site [147] jusqu'en 2009. A partir de 2010, les données de production (confidentielles) et d'émission sont désormais récupérées dans les déclarations annuelles de rejets [19].

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

La production d'acide adipique est émettrice de CO<sub>2</sub> qui provient de la production du mélange cyclohexanone / cyclohexanol et de l'oxydation d'une partie des matières premières. Ces émissions de CO<sub>2</sub> sont déterminées à partir des déclarations annuelles des émissions [19]. Le facteur d'émission établi sur la base des années récentes est reporté jusqu'en 1960 compte tenu des caractéristiques de l'installation qui n'ont pas évolué.

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Les émissions de N<sub>2</sub>O proviennent de communications directes avec le site [147] ou sont extraites des déclarations annuelles des émissions [19].

En marche normale, les émissions de N<sub>2</sub>O sont mesurées en continu au moyen d'un chromatographe. En marche dégradée, les gaz provenant du procédé sont émis directement à l'atmosphère. Les émissions de N<sub>2</sub>O sont alors déterminées par bilan matière. Les émissions calculées correspondent à plus de 98% de l'ensemble des émissions.

Les émissions de N<sub>2</sub>O ont été réduites de plus de 99% depuis 1990 grâce au système de traitement installé en 1998. Le N<sub>2</sub>O est brûlé avec du méthane dans des conditions particulières pour transformer le N<sub>2</sub>O en NO, NO<sub>2</sub> et N<sub>2</sub>. Le N<sub>2</sub>O et le N<sub>2</sub> sont ensuite adsorbés dans l'eau pour créer de l'acide nitrique. Une forte réduction a été observée entre 2003 et 2004 suite au renouvellement d'un élément du système de traitement qui s'avérait perturber la performance de l'ensemble. La diminution du facteur d'émission depuis 2011 résulte de la réalisation d'un projet visant à réduire les émissions de N<sub>2</sub>O par augmentation et fiabilisation de la collecte de N<sub>2</sub>O en direction de l'unité de traitement N<sub>2</sub>O (Projet Chal'ange, réalisé en plusieurs tranches à partir de 2008). Les fluctuations des émissions de N<sub>2</sub>O 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<sub>2</sub>O par un facteur 10 a été observée à cause d'une défaillance importante de l'unité de traitement du N<sub>2</sub>O. 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<sub>2</sub>O.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Les émissions de NO<sub>x</sub> sont extraites des déclarations annuelles des rejets [19].

Une forte baisse du facteur d'émission des NO<sub>x</sub> est constatée depuis la mise en place d'un procédé de récupération des vapeurs nitreuses et de leur transformation en acide nitrique.

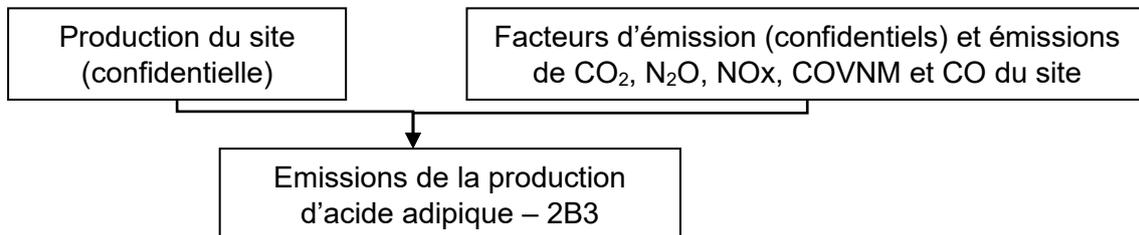
#### **Emissions de COVNM**

La production d'acide adipique est émettrice de COVNM provenant de la production du mélange cyclohexanone / cyclohexanol et de l'oxydation d'une partie des matières premières. Entre 1988 et 2007 les émissions de COVNM sont déterminées à l'aide d'un facteur d'émission déterminé à partir d'une mesure de COVNM réalisée en 2007 [19] et de la production nationale (confidentielle, car un seul site producteur). Entre 2007 et 2017, un facteur d'émission diminuant graduellement est calculé à partir des mesures réalisées en 2007 et 2017, car ce sont les années où une campagne de mesure des fuitifs, visant à diminuer ces émissions, a été réalisée progressivement. A noter que ces émissions restent, en valeur absolue, très faibles.

### **Emissions de CO**

Les émissions de CO sont issues de l'atelier de production du mélange de cyclohexanone / cyclohexanol, en amont de l'atelier de production d'acide adipique. Les émissions sont issues des déclarations annuelles [19].

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
22/01/2018	LN	01/02/2018	JV

## PRODUCTION D'ACIDE GLYOXYLIQUE

Cette section porte sur la production d'acide glyoxylique et de glyoxal. Les installations connexes de combustion sont traitées dans d'autres sections.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2B4
CEE-NU / NFR	2B4
SNAPc (extension CITEPA)	040523
CE / directive IED	4.1b
CE / E-PRTR	4aii
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Productions totales nationales confidentielles	Données d'émissions des sites

### Niveau de méthode :

Rang 2 jusqu'en 2002 et Rang 3 depuis 2003.

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[150] Dossier d'engagement AERES - site de Cuise-Lamotte - CLARIANT

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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<sub>2</sub>O, de COVM et de NOx..

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<sub>2</sub>O. 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 de N<sub>2</sub>O, de COVNM et de NO<sub>x</sub>. Un système de traitement catalytique des émissions de N<sub>2</sub>O a été introduit à partir de 1998 sur les unités de glyoxal de Cuise-Lamotte et en 2002 sur les unités d'acide glyoxylique.

#### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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.

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

##### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Les émissions de N<sub>2</sub>O sont extraites des déclarations annuelles des émissions [19]. Depuis l'installation du traitement catalytique, en dehors des phases transitoires (démarrages, arrêts, incidents) rares et de durées limitées, les émissions de N<sub>2</sub>O sont réduites en N<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>. En marche normale de l'installation, les émissions de N<sub>2</sub>O sont déterminées par mesures en continu des débits d'air et des concentrations en sortie de l'unité de traitement. En marche dégradée, les émissions de N<sub>2</sub>O 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.

#### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

##### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Les émissions de NO<sub>x</sub> sont extraites des déclarations annuelles des rejets [19].

Une forte baisse du facteur d'émission des NO<sub>x</sub> est constatée depuis 2005 suite à la mise en place d'une unité de traitement catalytique.

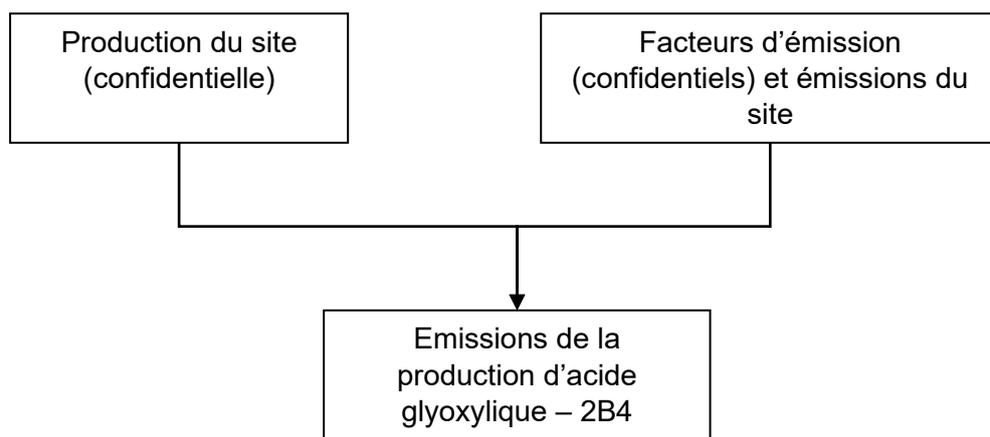
Les données de production et facteurs d'émission sont confidentiels.

##### **Emissions de COVNM**

Les émissions de COVNM sont extraites des déclarations annuelles des rejets [19].

Les données de production et facteurs d'émission sont confidentiels.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
30/01/2018	NT	01/02/2018	JV

## CARBURE DE CALCIUM

Cette section traite des émissions liées à la production et à l'utilisation du carbure de calcium.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.B.5.b
CEE-NU / NFR	2.B.5
SNAPc (extension CITEPA)	04.04.12
CE / directive IED	4.2.e
CE / E-PRTR	4bv
CE / directive GIC	(hors champ)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production totale nationale et statistiques douanières	Utilisation de facteurs d'émission spécifiques à la France à partir de données connues par site ou de facteurs d'émission par défaut

### Niveau de méthode :

CO<sub>2</sub> : Rang 1

COVNM et TSP : Rang 3

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[255] IPCC revised 2006 guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, V\_3.3 Ch3 Chemical Industry, 3.6 Carbide production, page 3.44

[497] Direction générale des douanes - importation et exportation du carbure de calcium

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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 :



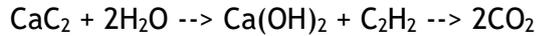
Les gaz produits étant réutilisés comme combustibles, le CO contenu dans les gaz est oxydé en CO<sub>2</sub>.

La production de carbure de calcium est responsable d'émissions de CO<sub>2</sub>, COVNM et TSP.

## 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 CO<sub>2</sub>.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

#### Production (NIR et IIR)

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 (NIR)

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.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> 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].

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de COVNM**

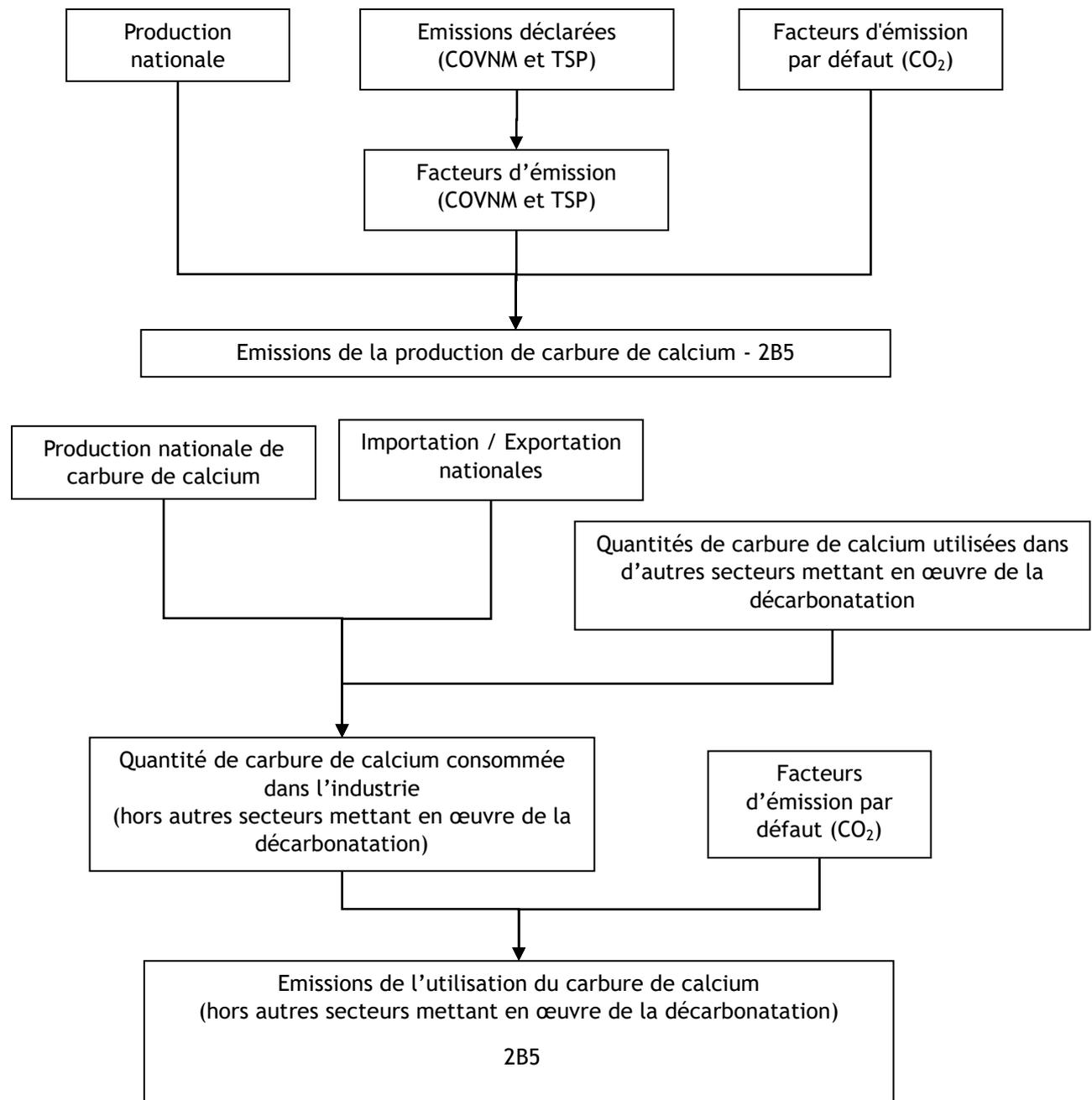
Les émissions de COVNM liées à la production de carbure de calcium sont estimées à l'aide de facteurs d'émission déterminés à partir des émissions déclarées [19] pour les années 1996, 1997, 1998, 2000 et 2001. Pour les autres années, le facteur d'émission utilisé correspond à la moyenne des facteurs d'émission calculés pour les années où les émissions sont connues.

#### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Les émissions de TSP liées à la production de carbure de calcium sont estimées à l'aide de facteurs d'émission déterminés à partir des émissions déclarées [19] pour les années 1995, 1996, 1997, 1998, 2000 et 2001. Pour les autres années, le facteur d'émission utilisé

correspond à la moyenne des facteurs d'émission calculés pour les années où les émissions sont connues.

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
17/01/2019	NT	11/02/2019	JV

## PRODUCTION DE CARBONATE DE SODIUM ET BICARBONATE DE SODIUM

Cette section traite des émissions liées à la production de carbonate de sodium et bicarbonate de sodium.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.B.7
CEE-NU / NFR	2.B.7
SNAPc (extension CITEPA)	04.06.19
CE / directive IED	4.2.d
CE / E-PRTR	4biv
CE / directive GIC	(hors champ)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production totale nationale	Utilisation de facteurs d'émission spécifiques à la France à partir de données connues par site

### Niveau de méthode :

CO<sub>2</sub> : Rang 2 (par assimilation) du fait de la prise en compte, pour partie, de données spécifiques aux installations jusqu'en 2000 puis 3

CO, NH<sub>3</sub> et TSP : Rang 2 (par assimilation) du fait de la prise en compte, pour partie, de données spécifiques aux installations jusqu'en 2000 puis 3

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[243] Infochimie - numéros spécial usines et numéros divers selon les années

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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 :  $\text{NaCl} + \text{NH}_4\text{CO}_3\text{H} \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaCO}_3\text{H}$
- Torrification du bicarbonate de sodium en carbonate de sodium :



- Transformation des sous-produits (chlorure d'ammonium et gaz carbonique) en hydrogénocarbonate d'ammonium.

#### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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.

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

##### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la production de carbonate de sodium et bicarbonate de sodium sont déterminées à partir des déclarations des sites de production à partir de 2001 [19]. Pour les années antérieures, les émissions de CO<sub>2</sub> sont estimées à l'aide de la moyenne des facteurs d'émission calculés pour les années 2001 à 2003.

#### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

##### **Emissions de CO**

Les émissions de CO liées à la production de carbonate de sodium et bicarbonate de sodium sont déterminées à partir des déclarations des sites de production à partir de 2001 [19]. Pour les années antérieures, les émissions de CO sont estimées à l'aide de la moyenne des facteurs d'émission calculés pour les années 2001 à 2003.

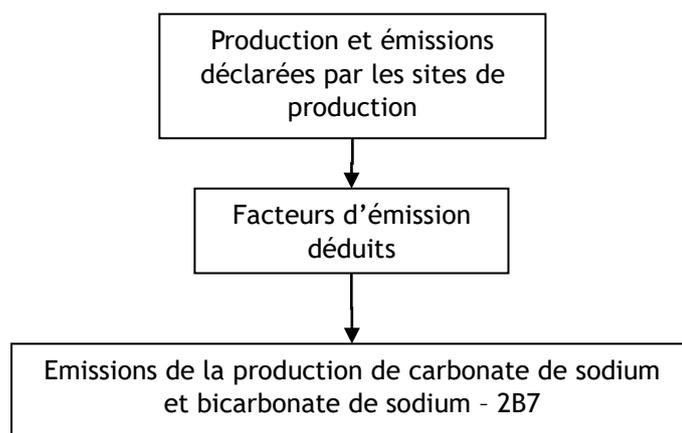
##### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> 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 NH<sub>3</sub> sont estimées à l'aide de la moyenne des facteurs d'émission calculés pour les années 2001 à 2003.

##### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Les émissions de TSP 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 TSP sont estimées à l'aide de la moyenne des facteurs d'émission calculés pour les années 2001 à 2003.

## Logigramme du processus d'estimation des émissions



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
06/02/2023	CV	10/02/2023	JV

## NOIR DE CARBONE

Cette section traite des émissions engendrées par la production de noir de carbone à l'exclusion des émissions relatives aux éventuelles installations de combustion connexes qui sont comptabilisées dans la section de la combustion dans l'industrie.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.B.8.f
CEE-NU / NFR	2.B.10
SNAPc (extension CITEPA)	04.04.09
CE / directive IED	4.2.e
CE / E-PRTR	4bv
CE / directive GIC	(hors champ)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production totale nationale	Utilisation de facteurs d'émission spécifiques à la France à partir de données connues par site

### Niveau de méthode :

CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> : Rang 2/3 (par assimilation) du fait de la prise en compte, pour partie, de données spécifiques aux installations jusqu'en 2000 puis 3.

COVNM, CO, TSP, BC, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> : Rang 2

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[53] SESSI / INSEE - Bulletin mensuel de statistique industrielle

[1053] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 3, Chapitre 3, Tableau 3-24, pp3.99

[1247] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 2.B Chemical industry, table 3.30

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Le Noir de carbone est produit par cracking catalytique par combustion ménagée d'hydrocarbures aromatiques :  $C_xH_y + O_2 + N_2 \rightarrow C + CO + H_2 + H_2O + N_2$ .

Ce procédé s'effectue en six étapes :

- **Pyrolyse de l'huile** : L'huile (définie comme matière première primaire) est injectée dans le réacteur dans une zone à haute température de densité d'énergie élevée qui est obtenue en brûlant du gaz naturel (défini comme matière première secondaire) dans de l'air. Cet air est en excès par rapport à la quantité de gaz naturel mais en défaut pour la matière première primaire. Il en résulte une combustion incomplète de l'huile qui est par conséquent pyrolysée et forme le noir de carbone entre 1 200°C et 1 900°C. Le gaz naturel, quant à lui, est brûlé complètement. Il est à noter cependant que toute l'huile ne se transforme pas en noir de carbone : le rendement de la réaction est d'environ 50 %.
- **Trempe** : Le mélange réactionnel est ensuite trempé dans de l'eau. Des gaz résiduels sont formés à partir du carbone de l'huile qui ne s'est pas transformé en noir de carbone et de la combustion complète du gaz naturel.
- **Filtration** : Le noir de carbone solide est séparé des gaz résiduels.
- **Broyage** : Le noir de carbone obtenu par la réaction est broyé et mis sous forme de granulés.
- **Séchage** : Le noir de carbone est ensuite séché. Il est à noter que l'énergie nécessaire au séchage de ce produit provient de la combustion d'une partie des gaz résiduels. C'est lors de cette étape qu'est émise une partie du CO<sub>2</sub> formé lors de la combustion du gaz naturel. Après séchage le noir de carbone est prêt à être commercialisé.
- **Élimination des gaz résiduels** : Les gaz résiduels qui ne servent pas à sécher le noir de carbone sont soit torchés soit valorisés énergétiquement au sein d'une chaudière. C'est lors de cette étape qu'est émis le CO<sub>2</sub> restant. Pour information le CO<sub>2</sub> issu de la valorisation des gaz résiduels sous chaudière est comptabilisé dans le secteur de la combustion industrielle (CRF 1A2).

Les principaux produits du procédé en dehors des émissions de la combustion sont le CO et les COVNM. D'autres polluants sont émis en plus faible quantité : CH<sub>4</sub> et particules.

Depuis 2016, la production de noir de carbone n'est plus assurée en France que par un site (fermeture d'un site en septembre 2009 et d'un autre en 2016). C'est pourquoi, en raison du secret statistique, les activités et facteurs d'émission liés à cette production sont confidentiels.

#### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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].

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

##### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont déterminées à partir des déclarations des sites de production à partir de 2001 [19]. Pour les années antérieures, les mêmes facteurs d'émission sont conservés.

Il est à noter que la production de noir de carbone est entrée, en 2013, dans le champ d'application du système d'échange de quotas de gaz à effet de serre (émissions de CO<sub>2</sub> de procédé).

##### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Les émissions de CH<sub>4</sub> sont déterminées à partir du facteur d'émission indiqué dans le Guidebook IPCC [1053] et de la production nationale.

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

### ***Emissions de SO<sub>2</sub>***

Les émissions de SO<sub>2</sub> 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.

### ***Emissions de NO<sub>x</sub>***

Les émissions de NO<sub>x</sub> 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.

### ***Emissions de COVNM***

Les émissions de COVNM sont déterminées à partir du facteur d'émission indiqué dans le Guidebook EMEP/EEA 2019 [1247] et de la production nationale.

### ***Emissions de CO***

Les émissions de CO sont déterminées à partir du facteur d'émission indiqué dans le Guidebook EMEP/EEA 2019 [1247] et de la production nationale.

### ***Emissions de poussières totales en suspension (TSP)***

Les émissions de TSP sont déterminées à partir du facteur d'émission indiqué dans le Guidebook EMEP/EEA 2019 [1247] et de la production nationale.

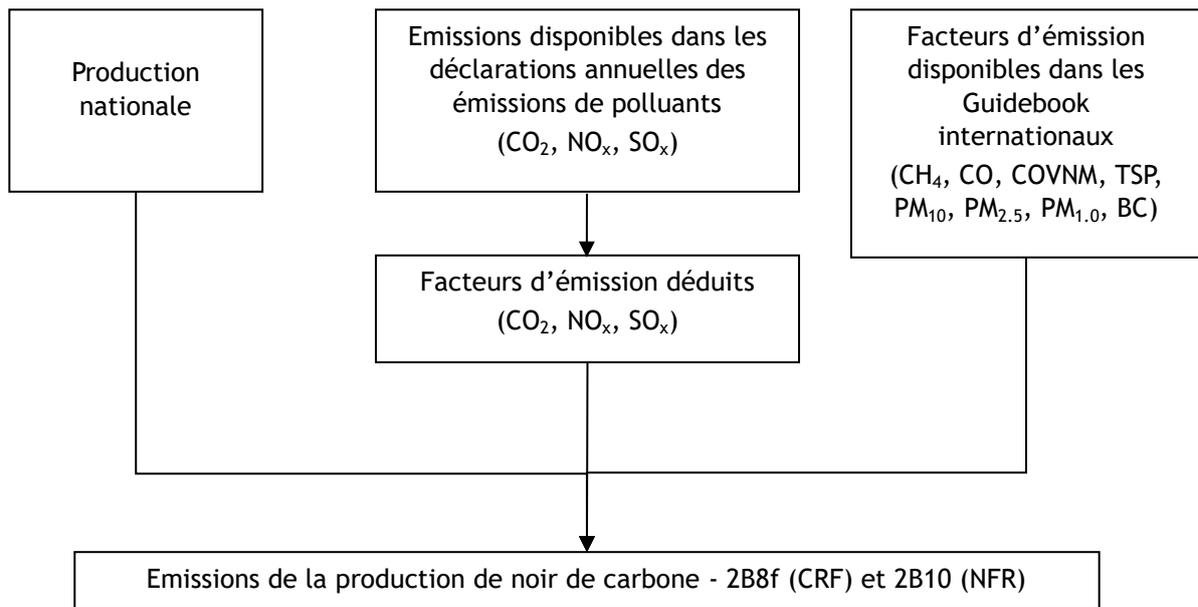
### ***Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>***

Les émissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>1,0</sub> sont estimées au moyen des % de répartition issus du Guidebook EMEP/EEA [1247].

### ***Emissions de carbone suie / black carbon (BC)***

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA [1247].

## Logigramme du processus d'estimation des émissions



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
20/02/2024	CV	21/02/2024	JV/JPC

## PRODUCTION D'ETHYLENE ET PROPYLENE

Cette section se rapporte d'une part aux émissions de la combustion de sous-produits issus des matières premières introduites dans les fours de vapocraquage ainsi qu'aux émissions de procédés de fabrication de l'éthylène et du propylène.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2B8b (CO <sub>2</sub> et CH <sub>4</sub> ) et 2B10 (N <sub>2</sub> O)
CEE-NU / NFR	2B10a
SNAPc (extension CITEPA)	040501
CE / directive IED	4.1a
CE / E-PRTR	4ai
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Combustion fours : Bottom-up intégral (toutes les installations sont considérées)	Combustion fours : Généralement spécifiques de chaque installation considérée individuellement concernant SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> et parfois NO <sub>x</sub> . Valeurs nationales pour les autres substances ou par défaut.
Procédés : Production totale nationale issue des déclarations individuelles	Procédés : Facteurs d'émission déterminés à partir des émissions des sites

### Niveau de méthode :

2 et plus (par extrapolation) du fait de la prise en compte de données spécifiques aux installations.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [22] Ministère de l'Environnement - Circulaire du 24 décembre 1990
- [50] Données communiquées directement par les exploitants au CITEPA
- [623] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 2, Table 2.3 (combustion stationnaire)
- [681] Emissions of Black carbon and Organic carbon in Norway 1990-2011
- [705] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol. 3, chap. 3, page 3.75
- [771] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 3\_1\_Chapitre 1\_Introduction, Box 1.1

[1235] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 1A2 Manufacturing industries and construction - table 3.3 Tier 1 emission factor for 1A2 combustion in industry using gaseous fuels

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Le vapocraquage est un procédé pétrochimique qui consiste à obtenir, à partir d'une coupe pétrolière telle que le naphta ou des alcanes légers ( $C_nH_{2n+2}$ ) les produits suivants :

- des alcènes (aussi appelés oléfines) :  $C_nH_{2n}$  ; ex : éthylène ( $C_2H_4$ ), propylène ( $C_3H_6$ ), butène,
- des hydrocarbures aromatiques (cycliques insaturés) : benzène, toluène, xylène.

Les coupes pétrolières sont introduites en présence de vapeur d'eau (de l'ordre de 30 à 100 % en poids) dans le vapocraqueur. Ce mélange est porté brutalement à 800°C pendant une fraction de seconde puis est très rapidement refroidi. Dans ces conditions, les molécules se scindent en plusieurs morceaux et donnent naissance à divers produits. Il en résulte une production dont la composition est d'environ 36% éthylène, 13% propylène, 8% butylène et 7% aromatiques. Ces produits sont séparés par distillation. On compte six vapocraqueurs en France depuis la fermeture d'une unité en 2015.

Certains vapocraqueurs nécessitent un apport d'énergie supplémentaires se traduisant par une consommation de gaz naturel (301) ou d'autres combustibles liquides (225), ces consommations et émissions associées sont considérées en 1A2c\_other\_furnaces

En plus des produits cités ci-dessus, des déchets gazeux à valeur énergétique intéressante sont réutilisés dans les fours de vapocraquage comme combustibles. Les émissions liées à la combustion de ces gaz sont prises en compte dans cette section conformément aux lignes directrices 2006 du GIEC [771].

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Combustion dans les fours de vapocraquage : Les données disponibles détaillées (types, quantités et caractéristiques des combustibles, types d'équipements, mesures des émissions, bilans, etc.) [19] permettent une estimation fine des émissions de la combustion quelques substances, notamment celles concourant à l'acidification et au changement climatique. Les combustibles gazeux considérés correspondent aux déchets industriels gazeux, gaz de pétrochimie et autres combustibles gazeux (respectivement NAPFUE 307, 308 et 314).

Les émissions des substances liées à la combustion sont estimées.

Procédés : Le niveau de production national de l'éthylène et du propylène est issu des communications des exploitants auprès du Citepa entre 1990 et 2005 [50] et des déclarations annuelles [19] après 2005.

Les procédés de vapocraquage génèrent des émissions de  $CO_2$  (très faibles), de  $CH_4$  et de COVNM.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Combustion fours : Les émissions de CO<sub>2</sub> sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. Les facteurs spécifiques déclarés par l'exploitant sont utilisés en priorité [19], notamment afin d'assurer la cohérence des données retenues pour l'inventaire avec celles déclarées au titre du SEQE, basées sur des mesures spécifiques. Lorsque l'exploitant ne déclare pas de facteurs spécifiques, une moyenne du facteur d'émission par combustible et par site ou les valeurs nationales (par combustible) (cf. section générale énergie) sont appliquées.

Procédés : Un site de production déclare des émissions très faibles de CO<sub>2</sub> liées au procédé depuis 2008 [19]. Pour les années antérieures, le FE CO<sub>2</sub> recalculé pour l'année 2008 est appliqué.

Ces émissions sont intégrées au CRF 2B8b.

### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Combustion fours : Sur l'ensemble de la période, les émissions de CH<sub>4</sub> 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<sub>4</sub> 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<sub>4</sub> et COVNM issus des lignes directrices du GIEC 2006 [705].

Ces émissions sont intégrées au CRF 2B8b.

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Combustion fours : Sur l'ensemble de la période, les émissions de N<sub>2</sub>O sont déterminées au moyen des facteurs d'émission par défaut relatifs à chaque combustible provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623].

Ces émissions sont intégrées au CRF 2B10 (car la catégorie 2B8b ne prévoit pas de N<sub>2</sub>O).

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions de SO<sub>2</sub> sont induites par la consommation des combustibles dans les fours de vapocraquage. Les émissions des vapocraqueurs sont le plus souvent déterminées par mesure directe et/ou à partir du bilan soufre établi sur la base des consommations de combustibles et de leurs teneurs en soufre recensées chaque année et généralement suivies en continu ou avec une fréquence élevée [19]. Lorsqu'une valeur spécifique manque pour un paramètre donné, la valeur de l'année précédente ou une valeur d'une installation analogue est utilisée.

### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Les émissions sont déterminées à partir d'une mesure ou au moyen de facteurs d'émission tirés de la littérature [22] ou de la section générale énergie.

### **Emissions de COVNM**

Combustion fours : Les émissions de COVNM sont déterminées à partir des facteurs d'émission par combustible (cf. section générale énergie).

Procédés : Les émissions de COVNM sont déterminées à l'aide d'un facteur d'émission, recalculé à partir des émissions totales de COVNM estimées par les exploitants [19].

### **Emissions de CO**

Les émissions de CO sont déterminées à partir des facteurs d'émission par combustible (cf. section générale énergie).

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables.

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>)**

Les émissions de poussières totales en suspension sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

Les émissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>1,0</sub> sont déterminées à l'aide de ratios granulométriques issus d'une combinaison de systèmes de dépoussièrage selon les combustibles (cf. section générale énergie).

### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio provient des références [1235] et [681].

Les ratios retenus dépendent du type de combustible :

- 4% pour les combustibles gazeux.

### **Métaux lourds (ML)**

Les émissions de l'ensemble des métaux lourds sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, supposés constants au cours des années (cf. section générale énergie).

### **Dioxines et furanes (PCDD-F)**

Les émissions de dioxines et furanes sont déterminées à partir des consommations [19] et au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Les émissions de HAP sont déterminées à partir des consommations [19] et au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

### **Polychlorobiphényles (PCB)**

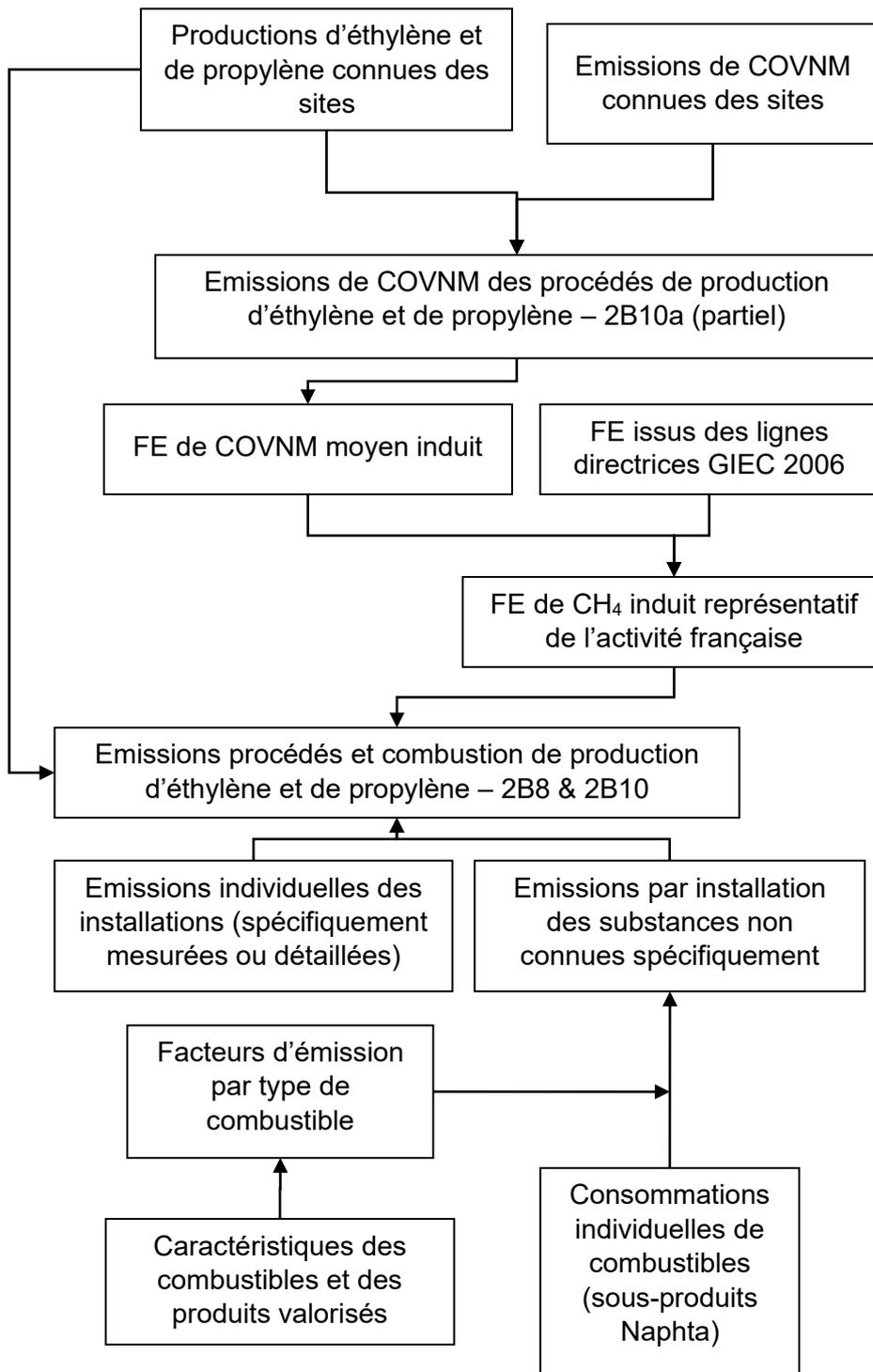
Il n'y a pas d'émission de PCB puisque les facteurs d'émission relatifs aux combustibles gazeux sont nuls (cf. section générale énergie).

**Hexachlorobenzène (HCB)**

Les émissions de HCB sont supposées négligeables.

Les émissions de polluants sont intégrées au NFR 2B10a.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
31/01/2024	CV	14/02/2024	JV

## AUTRES PRODUCTIONS DE LA CHIMIE ORGANIQUE

Cette section se rapporte aux procédés de l'industrie chimique organique ne faisant pas l'objet d'une section spécifique :

- Production de monochlorure de vinyle (SNAP 040504),
- Production de polyéthylène haute et basse densité (SNAP 040506 et 040507),
- Production de PVC (SNAP 040508),
- Production de polypropylène (SNAP 040509),
- Production de styrène (SNAP 040510),
- Production de polystyrène (SNAP 040511),
- Production de résines ABS (SNAP 040515),
- Production d'anhydride phtalique (SNAP 040519),
- Diverses productions organiques (PTTB, NMSBA, éthanol, etc.) (SNAP 040527).

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2B8g (en partie) et 2B10 (en partie)
CEE-NU / NFR	2B10a (en partie)
SNAPc (extension CITEPA)	040504, 040506, 040507, 040508, 040509, 040510, 040511, 040515, 040519, 040527
CE / directive IED	4.1
CE / E-PRTR	4a
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Productions nationales (confidentielles selon le nombre de sites)	Extrapolation au niveau national à partir des données connues par site et des travaux de la profession

### Niveau de méthode :

2 (par extrapolation) du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [50] Données communiquées directement par les exploitants au CITEPA
- [53] SESSI - Bulletin mensuel de statistique industrielle

- [82] UBA - Etude sur la répartition granulométrique (< PM10, < PM 2.5) des émissions de poussières - février 1999
- [115] SPMP - Rapport annuel, les matières plastiques en chiffres
- [118] UIC - Rapport annuel sur l'évolution de l'industrie chimique en France
- [331] UIC - données internes à la profession fournies par M. DECROUTTE le 5 novembre 2007
- [379] GIEC - Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapitre 2, page 2.20
- [530] BREF Fabrication des polymères, Août 2007 - Chapitre PVC - p. 107 et 108
- [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)
- [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
- [1074] PRODCOM - Statistiques sur la production de produits manufacturés - eurostat (codes produit : 20147400 et 20147500)
- [1206] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 2H2 Food and Beverages industry, table 3-7 FE COVNM de la fermentation

#### Caractéristiques de la catégorie (IIR et NIR) :

De très nombreux produits sont synthétisés dans les procédés de la chimie organique. Les productions considérées dans cette partie sont :

- a/ la production de chlorure de vinyle (SNAP 040504),
- b/ la production de polyéthylène (basse et haute densité) (SNAP 040506 et 040507),
- c/ la production de polychlorure de vinyle (SNAP 040508),
- d/ la production de polypropylène (SNAP 040509),
- e/ la production de styrène (SNAP 040510),
- f/ la production de polystyrène (SNAP 040511),
- g/ la production de résines butadiène styrène acrylonitrile (ABS) (SNAP 040515),
- h/ la production d'anhydride phtalique (SNAP 040519),

i/ la production d'autres produits n'entrant pas dans les catégories précitées (SNAP 040527).

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Les niveaux d'activité proviennent, soit des statistiques nationales fournies par l'UIC [118], le SESSI [53] ou par le SPMP [115], soit directement des sites [19, 50], lorsque ceux-ci sont peu nombreux les données sont confidentielles.

#### a/ Production de monochlorure de vinyle (MVC)

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].

#### b/ Production de polyéthylène (basse et haute densité)

Les activités proviennent pour certaines années des statistiques fournies par l'UIC [118] et pour d'autres, des statistiques du SPMP [115] ainsi que des déclarations annuelles des rejets [19].

#### c/ Production de polychlorure de vinyle (PVC)

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].

#### d/ Production de polypropylène

Les activités proviennent des statistiques fournies par le SESSI et l'UIC [53, 118] ainsi que des déclarations annuelles des rejets [19].

#### e/ Production de styrène

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.

#### f/ Production de polystyrène

Parmi les cinq sites recensés en 1990, quatre sont encore en activité. On distingue la production de polystyrène expansé (EPS) produit par un seul site depuis 1993, de celle de polystyrène à usage général (GIPPS) et à impact élevé (HIPS) produits par 3 sites. Entre 1980 et 2003, les activités proviennent pour certaines années des statistiques fournies par l'UIC [118], pour d'autres, des statistiques du SESSI et du SPMP [53, 115] et ont été interpolées pour les années où les informations ne sont pas disponibles. Depuis 2004, les déclarations annuelles des rejets sont utilisées pour déterminer les quantités de polystyrène produites (par type) [19].

#### g/ Production de résines butadiène styrène acrylonitrile (ABS)

Le seul site recensé a fermé en mars 2008. Les productions (données confidentielles) et les émissions proviennent des déclarations annuelles [19].

#### h/ Production d'anhydride phtalique

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].

#### i/ Production d'autres produits n'entrant pas dans une catégorie citée

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.

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

##### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Certaines installations, en particulier celles soumises au système d'échange de quotas d'émissions (SEQE), déclarent des émissions de CO<sub>2</sub> procédés associées à leur activité de production chimique. Ces émissions sont compilées par activité et les facteurs d'émission sont calculés à partir de la production pour les années connues.

#### a/ Production de monochlorure de vinyle (MVC)

A partir de 2013, les émissions de CO<sub>2</sub> 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).

#### c/ Production de polychlorure de vinyle (PVC)

Certains sites de production de PVC déclarent des émissions de CO<sub>2</sub> 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.

#### h/ Production d'anhydride phtalique

Les facteurs d'émissions sont calculés à partir des émissions de CO<sub>2</sub> 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.

#### i/ Production d'autres produits

Pour le reste de la chimie organique, certains sites émettent du CO<sub>2</sub>, en fonction de leurs procédés et caractéristiques.

Pour les années 2013 et suivantes, les facteurs d'émission sont calculés à partir des déclarations annuelles des émissions [19].

Pour les années 2004 à 2012, si les émissions ne sont pas fournies, les facteurs d'émission sont calculés à partir des déclarations de rejets et/ou des émissions recalculées par site à partir des derniers facteurs d'émission disponibles.

Entre 1998 et 2004, les émissions de CO<sub>2</sub> 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 1998 qui est reportée.

### ***Emissions de CH<sub>4</sub>***

#### e/ 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.

### ***Emissions de N<sub>2</sub>O***

#### i/ Production d'autres produits

Comme pour le CO<sub>2</sub>, à partir de 2004, les données d'émission de N<sub>2</sub>O proviennent directement des déclarations annuelles des industriels [19].

Entre 1998 et 2004, les émissions de N<sub>2</sub>O 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.

### ***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission de gaz fluorés attendue pour ces activités.

**Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

### ***Emissions de SO<sub>2</sub>***

i/ Production d'autres produits

Seule une usine appartenant au secteur « production d'autres produits » a émis du SO<sub>2</sub> par le passé jusqu'en 1997. Entre 1994 et 1997, les émissions proviennent des déclarations annuelles de rejets de cette usine [19]. Les émissions ont été considérées constantes avant 1994.

**Emissions de COVNM**

Toutes les activités considérées dans le secteur de la chimie organique émettent des COVNM. De manière générale, les facteurs d'émission ont fortement diminué depuis 1990 suite à la réduction des émissions fugitives et la mise en place d'oxydateurs.

a/ Production de monochlorure de vinyle (MVC)

Le facteur d'émission provient des données des industriels disponibles pour 1990, 1994 et 1995. A partir de 2004, les émissions des sites sont traitées spécifiquement à partir des déclarations annuelles de rejets [19]. Le facteur d'émission de 1990 est utilisé pour les années antérieures à 1990 et une interpolation est faite entre 1990 et 1994 et entre 1996 à 2003.

b/ Production de polyéthylène (basse et haute densité)

Les émissions de COVNM liées aux procédés, aux stockages et aux émissions fugitives sont considérées ici. Les facteurs d'émission de COVNM sont basés sur des données de production fournies par le SPMP et l'UIC [115, 118] et les déclarations annuelles de rejets [19]. A partir de 2004, les émissions des sites sont traitées spécifiquement à partir des déclarations annuelles de rejets [19]. Les émissions des années antérieures à 2004 ont été estimées en supposant une décroissance régulière globale du facteur d'émission de 25% entre 1980 et 2004.

c/ Production de polychlorure de vinyle (PVC)

Les facteurs d'émission de COVNM sont basés sur des données fournies par le SPMP [115] pour les années antérieures à 2004. A partir de cette dernière année, les émissions des sites sont déterminées spécifiquement à partir des déclarations annuelles de rejets [19].

d/ Production de polypropylène

Les facteurs d'émission proviennent des données disponibles dans les déclarations annuelles des rejets [19] à partir de 2004. Le facteur d'émission de l'année 2004 est appliqué aux années antérieures.

e/ Production de styrène

Le facteur d'émission de COVNM utilisé pour les années antérieures à 1994 provient du Guidebook EMEP/EEA 1999 [918]. Par la suite, les facteurs d'émission sont basés directement sur les déclarations annuelles des rejets [19]. Compte tenu du faible nombre de sites producteurs, les facteurs d'émission sont confidentiels.

f/ Production de polystyrène

A partir de 1995, les facteurs d'émission sont directement déduits des déclarations des industriels [19]. Le facteur d'émission de l'année 1995 est appliqué aux années antérieures faute de données plus précises.

g/ Production de résines butadiène styrène acrylonitrile (ABS)

Les facteurs d'émission sont basés sur les déclarations des industriels [19] à partir de 1994. Le facteur d'émission de 1990 provient du SPMP [115]. Pour les années 1991 à 1993, les valeurs ont été estimées par interpolation. La production a été arrêtée définitivement en 2009 et compte tenu du faible nombre de sites producteurs, les facteurs d'émission sont confidentiels.

#### h/ Production d'anhydride phtalique

Les facteurs d'émission sont déterminés à partir des données disponibles dans les déclarations annuelles de rejets des industriels [19]. Le seul site producteur d'anhydride phtalique en France a cessé son activité en 2014. Compte tenu du faible nombre de sites producteurs, les facteurs d'émission sont confidentiels.

#### i/ Production d'autres produits n'entrant pas dans une catégorie citée

Les données d'émission de COVNM proviennent directement des déclarations annuelles des industriels [19] à partir de 2004. Les années de la période 1998 - 2003 sont estimées en tenant compte du coefficient d'évolution déterminé à partir de l'enquête de l'UIC visant à estimer les émissions de COV de la chimie [331]. Cette approche bottom-up se justifie d'autant plus que depuis 2005 sont observés des phénomènes de réduction des activités en volume et la mise en place d'équipements de traitement des effluents (i.e. oxydateurs thermiques).

Pour la production d'éthanol, le facteur d'émission utilisé provient du Guidebook EMEP / EEA [1206]. Ce facteur d'émission est cohérent avec les données issues des déclarations de quelques sites de production d'éthanol (même ordre de grandeur).

### **Emissions de NOx**

#### i/ Production d'autres produits

Un site producteur d'acide para tertio butylbenzoïque (PTTB, jusqu'en 2005) et d'acide 4-méthylsulfonyl-nitrobenzoïque (NMSBA, de 2001 à 2014, suivi d'une reprise en 2019) est émetteur de NOx. Ce site a cessé son activité en 2014. Les émissions de NOx étaient extraites des déclarations annuelles des rejets [19].

### **Emissions de CO**

#### h/ Production d'anhydride phtalique

Les facteurs d'émission sont calculés à partir des émissions de CO disponibles dans les déclarations annuelles de rejets des industriels [19]. Le seul site producteur d'anhydride phtalique en France a cessé son activité en 2014. Les facteurs d'émission sont confidentiels.

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

#### b/ Production de polyéthylène (basse et haute densité)

Les émissions de TSP sont estimées au moyen des facteurs d'émission disponibles dans le guide EMEP/EEA pour la production de polyéthylène basse densité et de polyéthylène haute densité [1011].

#### c/ Polychlorure de vinyle

Pour l'année 1990, les émissions de TSP sont estimées au moyen d'un facteur d'émission issu du Guidebook EMEP/EEA [919]. A partir de 2000, un facteur d'émission moyen des procédés d'émulsion et de suspension, issu du BREF Fabrication des polymères, est considéré [530].

Le facteur d'émission est interpolé linéairement entre 1990 et 2000. A partir de 2008 le facteur d'émission est issu directement des déclarations annuelles des industriels [19] et une interpolation linéaire entre 2000 et 2008 a été réalisée.

#### d/ Polypropylène

Les émissions de TSP sont estimées au moyen d'un facteur d'émission fourni par l'UBA [82].

#### f/ Production de polystyrène

Les émissions de TSP sont estimées au moyen des facteurs d'émission disponibles dans le guide EMEP/EEA pour la production de polystyrène de type GPPS, HIPS et EPS [1012].

#### h/ Anhydride phtalique

Les émissions de TSP sont estimées au moyen d'un facteur d'émission fourni par l'UBA [82].

#### i/ Production d'autres produits

Les données d'émission de TSP proviennent directement des déclarations annuelles des industriels [19] à partir de 2004. Les années antérieures sont estimées via des données des exploitants et en tenant compte du coefficient d'évolution déterminé à partir d'une enquête de l'UIC [331].

Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>

Les émissions de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont estimées au moyen de la répartition granulométrique par défaut disponible dans le guide EMEP/EEA pour l'industrie chimique [1011] lorsque les émissions de TSP sont estimées.

#### c/ Polychlorure de vinyle

Les émissions de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont estimées au moyen de facteurs d'émission, spécifiques à cette activité, issus du Guidebook EMEP / EEA [919].

#### *Emissions de NH<sub>3</sub>*

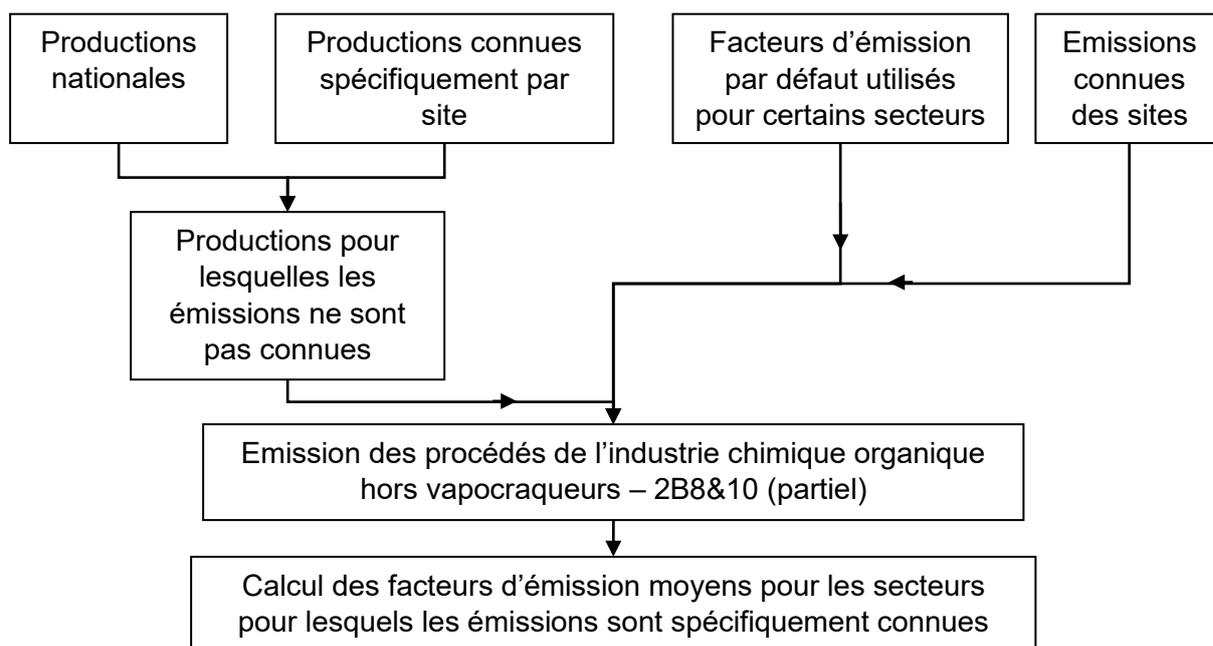
#### c/ Production de polychlorure de vinyle (PVC)

Un site déclare des émissions de NH<sub>3</sub> lors de la production de PVC [19]. Dès le démarrage de l'installation en 2005, des émissions sont déclarées et utilisées dans l'inventaire (confidentielles).

#### i/ Production d'autres produits

Six installations déclarent des émissions de NH<sub>3</sub>. Depuis 2004, les déclarations annuelles [19] sont utilisées. Pour les années 1990-2003, en l'absence de déclaration, la moyenne des émissions 2004-2005 est reportée.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
06/01/2023	RB	29/01/2023	JV

## PRODUCTION DE HFC, PFC ET SF<sub>6</sub>

Cette section porte sur les émissions relatives :

- A la production de HFC et PFC,
- A la destruction du fluor dans la chimie du nucléaire,
- Aux sous-produits engendrés par la production de HCFC-22 et d'acide fluoré.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.B.9
CEE-NU / NFR	Hors champs
SNAPc (extension CITEPA)	04.08.01 à 04.08.06 sauf 04.08.04
CE / directive IED	4.1a 4.2a
CE / E-PRTR	4ai et 4bi
CE / directive GIC	Hors champs

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production totale nationale	Spécifique à chaque site

### Niveau de méthode :

Rang 3.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [50] Données communiquées directement par les exploitants au CITEPA

### Caractéristiques de la catégorie :

Il existe deux sites de production d'hydrocarbures halogénés en France. Un autre site produit également un acide fluoré qui engendre comme sous-produits des HFC et PFC.

Il n'y a pas de production de SF<sub>6</sub> en France mais un site est dédié à la régénération du SF<sub>6</sub> récupéré depuis 2008. L'essentiel de la production en Europe se concentre en Allemagne et en Italie. Un site dans l'industrie nucléaire a émis du SF<sub>6</sub> 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.

## Méthode d'estimation des émissions de GES :

### **Emissions de Gaz fluorés**

Les HFC et PFC produits sont émis en partie de manière fugitive ou canalisée.

L'autre partie provient de l'émission des réactions de sous-produits générés par l'activité initiale :

- La production d'HCFC-22 est à l'origine d'émissions de HFC-23,
- La production de R-142b émet du HFC-365mfc,
- La fabrication d'acide fluoré engendre des sous-produits (notamment HFC-125 et CF<sub>4</sub>).

La transformation du fluor engendre des émissions de SF<sub>6</sub>

Les émissions sont communiquées directement par les sites de production [50] et les déclarations annuelles de rejets [19].

Pour le site de régénération de SF<sub>6</sub>, les émissions sont générées lors du conditionnement et des fuites raccords/brides mais surtout lors du processus de régénération. A partir de 2020, les émissions sont directement issues de la déclaration GEREPE du site [19] qui intègre toutes les sources d'émissions de SF<sub>6</sub>. Pour les années antérieures, le site ne comptabilisait pas les émissions engendrées par la machine de régénération. Ainsi, pour la période 2014 - 2019, les émissions de SF<sub>6</sub> ont été estimées à partir des données de l'observatoire des fluides frigorigènes de l'ADEME qui recense les quantités totales de SF<sub>6</sub> régénérées en France et du taux d'émission moyen du site calculé pour les années 2020 - 2021. Pour les années antérieures à 2014 et pour lesquelles les données de l'ADEME sont indisponibles, les quantités de SF<sub>6</sub> régénérées ont été calculées sur la base de la variation 2014/2015 puis interpolées jusqu'en 2008. Afin de conserver la confidentialité statistique (un seul site réalisant cette activité), les données d'activité et le facteur d'émission utilisés ne sont pas renseignés.

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
03/02/2022	CJ	04/02/2022	JV

## TORCHERES DANS L'INDUSTRIE CHIMIQUE

Cette section concerne les émissions des torchères dans l'industrie chimique.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2B10
CEE-NU / NFR	2B10a
SNAPc (extension CITEPA)	090204
CE / directive IED	4.1
CE / E-PRTR	4a et 4b
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Quantité de gaz torchés	Facteurs d'émission déterminés à partir des émissions des sites pour CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O et CH <sub>4</sub>
	Facteurs moyens recalculés pour le secteur

### Niveau de méthode :

Rang 3 depuis 2012 / Rang 2 pour les années précédentes

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[397] GIEC - Guidelines 2006, Chapter 2, Pages 2.15 and 2.16, Table 2.2 stationary combustion in the energy industries

### Caractéristiques de la catégorie (NIR) :

Dans l'industrie chimique, la torchère est un équipement de combustion des gaz résiduaux, 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. Le torchage de ces gaz entraîne des émissions de GES et de polluants. Actuellement, seules les émissions de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O sont estimées.

### Méthode générale d'estimation des émissions (NIR) :

Les activités et les émissions des torches (depuis 2012) sont issues des déclarations annuelles des exploitants [19]. La plupart des torchères prises en compte individuellement sont celles présentes sur des installations chimiques soumises au système d'échange de quotas d'émissions (SEQE).

La quantité de gaz torchés avant 2012 est recalculée à partir des données de production de chaque site : les émissions et activités sont déterminées pour les années les plus récentes,

puis rétropolées jusqu'en 1990 (1960 pour le CO<sub>2</sub>) en indexant l'activité des torches avec les productions connues.

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

##### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

A partir de 2012, les facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> sont déterminés à partir des quantités de gaz torchés et des données d'émissions [19].

Pour les années antérieures à 2012, les émissions sont déterminées site par site via la moyenne des facteurs d'émission des années 2012 et 2013.

##### **Emissions de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O**

A partir de 2012, les facteurs d'émission de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O 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.

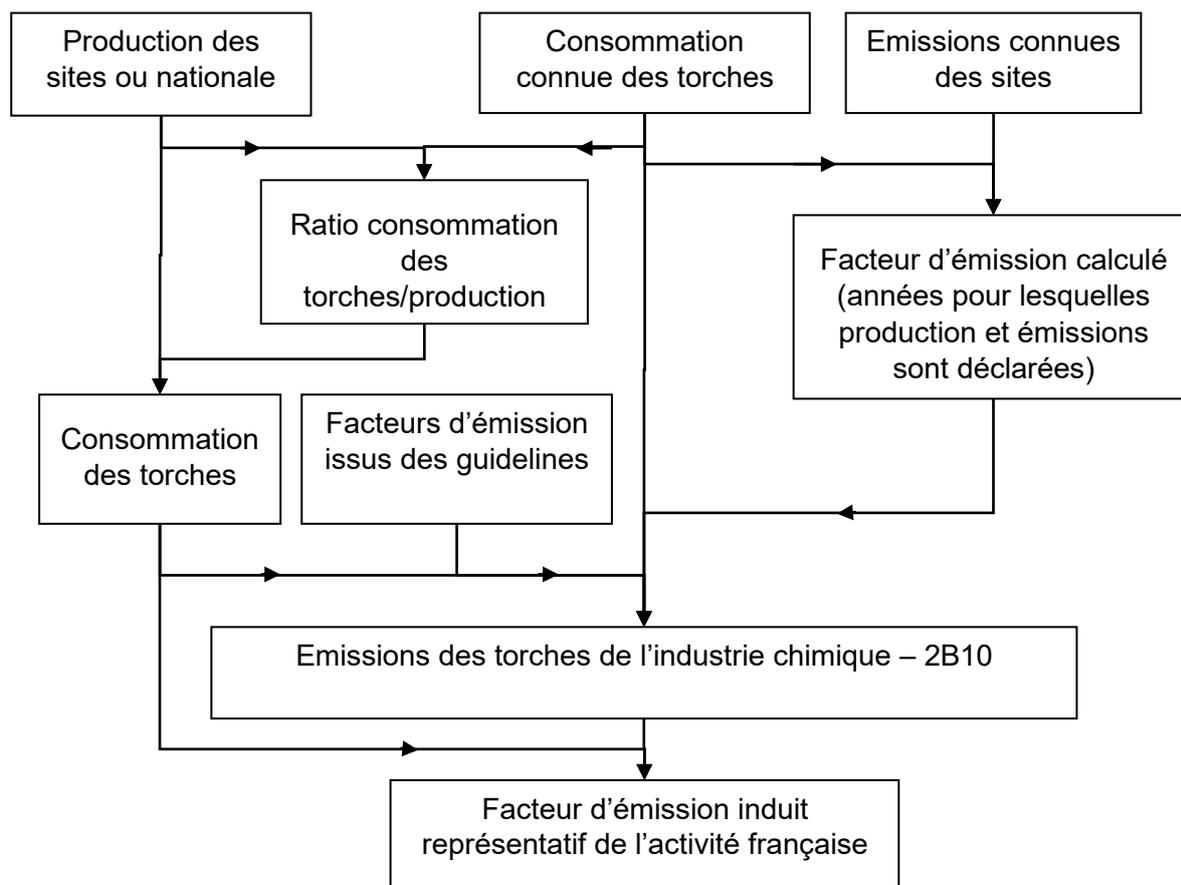
Pour les années antérieures à 2012, les émissions sont déterminées site par site via la moyenne des facteurs d'émission des années 2012 et 2013.

#### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

##### **Emissions de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, COVNM, TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, black carbon (BC)**

Les émissions des torches (depuis 2012) sont issues des déclarations annuelles des exploitants [19]. Pour les années où les déclarations ne sont pas disponibles, un facteur d'émission issu d'une moyenne de plusieurs années est appliqué à l'activité.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
15/01/2021	EF	21/01/2021	JV

## SITES CHIMIQUES (DECARBONATATION)

Ce paragraphe permet d'introduire la méthode de calcul des émissions de CO<sub>2</sub> induites par l'utilisation de matières carbonées au niveau des sites chimiques.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2B10
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension CITEPA)	040631
CE / directive IED	-
CE / E-PRTR	-
CE / directive GIC	-

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up intégral (toutes les installations sont considérées individuellement)	Généralement spécifiques de chaque installation considérée individuellement

### Niveau de méthode :

Rang GIEC 3

### Références utilisées :

[19] DRIRE/DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Quinze sites industriels chimiques utilisent de la castine ou une matière carbonée (calcaire par exemple) pour le traitement des fumées engendrant des émissions de CO<sub>2</sub>.

L'activité retenue correspond à la consommation de matière carbonée des sites.

Les consommations de matière carbonée sont connues via les déclarations annuelles de polluants [19] au mieux à partir de 2003 (selon les sites). Pour les années antérieures, les consommations de matière carbonée sont, soit déduites du facteur d'émission et des émissions de CO<sub>2</sub> connues liées à la décarbonatation [19], soit la valeur de la production de la dernière année disponible est reportée.

### Méthode d'estimation des émissions de GES :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Quinze sites industriels chimiques utilisent de la castine ou une matière carbonée (calcaire par exemple) pour le traitement des fumées engendrant des émissions de CO<sub>2</sub>.

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.

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue.

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

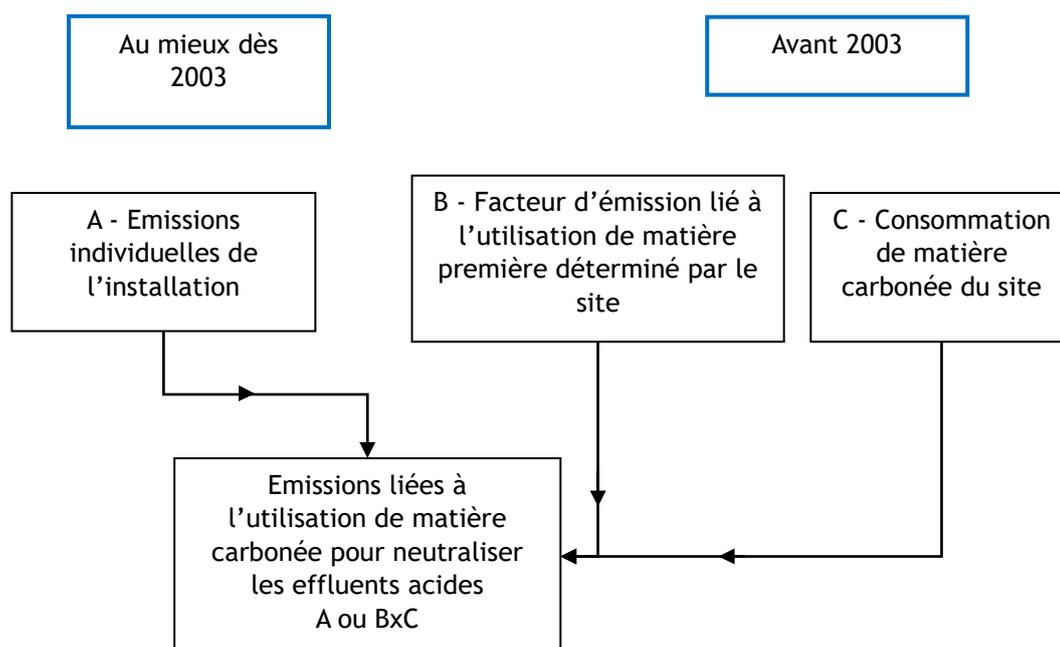
Il n'y a pas d'émission attendue.

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue.

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.

Logigramme du processus d'estimation des émissions - usines chimiques



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
19/01/2024	TB	16/02/2024	JV

## AUTRES PROCÉDES DE LA CHIMIE INORGANIQUE

Cette section traite des procédés de la chimie inorganique ne faisant pas l'objet d'une section spécifique :

- Production d'acide sulfurique (SNAP 040401),
- Production d'engrais :
  - Sulfate d'ammonium (SNAP 040404),
  - Nitrate d'ammonium (SNAP 040405),
  - Engrais NPK (SNAP 040407),
  - Urée (SNAP 040408),
  - Engrais phosphatés (SNAP 040414),
- Production de dioxyde de titane (SNAP 040410),
- Production de chlore (SNAP 040413),
- Production d'hydrogène (SNAP 040416),
- Production de tétrafluorure d'uranium (SNAP 040416),
- Production de sulfure de carbone (SNAP 040416),
- Production tétrachlorure de titane (SNAP 040410),
- Production de N<sub>2</sub>O médical et industriel (SNAP 040416),
- Diverses productions (colorants, pigments, etc.) (SNAP 040416).

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.B.10
CEE-NU / NFR	2.B.6 et 2.B.10
SNAPc (extension CITEPA)	04.04.01, 04.04.04, 04.04.05, 04.04.07, 04.04.08, 04.04.10, 04.04.13, 04.04.14 et 04.04.16
CE / directive IED	4.2
CE / E-PRTR	4b
CE / directive GIC	(hors champ)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Activité totale nationale	Facteur d'émission par défaut ou valeur nationale ou valeur spécifique à des installations connues en fonction des activités et polluants

### Niveau de méthode :

CO<sub>2</sub> : Rang 2 (par assimilation) jusqu'en 2005 (pour la production de TiCl<sub>4</sub>) et en 2006 (pour la production d'H<sub>2</sub>) puis rang 3

N<sub>2</sub>O : Rang 3

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [49] TNO - Etude CEPMEIP relative aux émissions de particules, 2001
- [50] Données communiquées directement par les exploitants au CITEPA
- [53] SESSI / INSEE - Bulletin mensuel de statistique industrielle
- [70] CITEPA - BOUSCAREN R. - Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et de composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996
- [82] UBA - Etude sur la répartition granulométrique (< PM<sub>10</sub>, < PM<sub>2.5</sub>) des émissions de poussières - février 1999
- [87] ECETOC - Ammonia emissions to air in Western Europe, July 1994
- [118] UIC - Rapport annuel sur l'évolution de l'industrie chimique en France
- [143] UNIFA - Union des industries de la fertilisation - communication personnelle de données
- [183] CITEPA - IER - Study on particulate matter emissions: particle size distribution chemical composition and temporal profiles - Interreg III for ASPA, January 2005
- [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
- [948] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Section 2.B.10.a other chemical industry - Table 3.35
- [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
- [1055] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 2.B Chemical Industry 2023 - Table 3.6

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Cette section regroupe plusieurs procédés de la chimie inorganique :

- Production d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) : le procédé de fabrication d'acide sulfurique comporte trois étapes (production de SO<sub>2</sub>, oxydation du SO<sub>2</sub> en SO<sub>3</sub>, puis absorption du SO<sub>3</sub> gazeux) et est générateur d'émissions de SO<sub>2</sub> et SO<sub>3</sub> (ensemble nommé SO<sub>x</sub>), rapportées en SO<sub>2</sub>.
- Production d'engrais :
  - Le sulfate d'ammonium est produit selon trois procédés principaux (sous-produit de la production de caprolactame, production dite synthétique et sous-produit des fours à coke). La production synthétique consiste à combiner de l'ammoniac anhydre avec de l'acide sulfurique. Ce type de production a disparu en 1981, le sulfate d'ammonium étant produit en très grandes quantités comme sous-produit du caprolactame et des fours à coke. Le procédé de production de sulfate d'ammonium est générateur d'émissions de NH<sub>3</sub> et de TSP.

- Le nitrate d'ammonium est produit par neutralisation d'acide nitrique avec de l'ammoniac. Ce procédé de production de sulfate d'ammonium est responsable d'émissions de NH<sub>3</sub> et de TSP.
- Les engrais composés (NP et NPK) sont produits par simple mélange d'engrais azotés, phosphatés et phosphorés ou bien par combinaison chimique (ce qui est de plus en plus fréquent). Après ces différentes opérations, les engrais NPK se trouvent presque toujours sous forme de granulés. La production d'engrais NPK génère des émissions de NH<sub>3</sub>, TSP, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>.
- La production de l'urée nécessite une suite de processus chimiques et mécaniques. Elle met en œuvre de l'ammoniac et du dioxyde de carbone. Ce procédé de production d'urée est responsable d'émissions de NH<sub>3</sub> et de TSP.
- Les engrais phosphatés sont composés de trois groupes de produits chimiques : les superphosphates simples, les superphosphates triples et le phosphate d'ammonium. Les superphosphates simples sont produits par réaction de roches contenant des phosphates avec de l'acide sulfurique. Les triples superphosphates sont produits par réaction de roches contenant des phosphates avec de l'acide phosphorique. Le phosphate d'ammonium est produit par réaction d'acide phosphorique avec de l'ammoniac anhydre. La production d'engrais phosphatés génère des émissions de TSP, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> et cadmium.
- Production de dioxyde de titane (TiO<sub>2</sub>) : en France, le TiO<sub>2</sub> est produit selon le procédé sulfurique. Ce procédé nécessite une attaque du minerai à l'acide sulfurique, le produit de la réaction étant ensuite calciné. Ce procédé entraîne des émissions importantes de SO<sub>2</sub> ainsi que des émissions de TSP. Entre 1967 et 2009, 3 sites de production existaient en France. En 2017 seul un site continue de produire, un premier ayant arrêté sa production en 2009 et le second en 2016.
- Production de chlore : la production de chlore se fait par électrolyse d'une solution saline (réaction entre du chlorure de sodium et de l'eau :  $2 \text{NaCl} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{H}_2 + 2 \text{NaOH}$ ). Les principales techniques utilisées sont : l'électrolyse à mercure, l'électrolyse à diaphragme et l'électrolyse à membrane. Le procédé d'électrolyse à mercure est émetteur de mercure.
- Production d'hydrogène (H<sub>2</sub>) : ce composé est produit par vaporeformage du gaz naturel. Ce dernier est donc utilisé en tant que matière première. Il résulte de ce procédé des émissions de CO<sub>2</sub>.
- Production de tétrafluorure d'uranium (UF<sub>4</sub>) : il s'agit de la première étape dans la préparation du combustible nucléaire (conversion de l'uranium brut en UF<sub>4</sub>) avant sa transformation en hexafluorure d'uranium (UF<sub>6</sub>) puis son enrichissement). L'utilisation d'ammoniac et d'acide nitrique dans les phases de purification occasionne des émissions de NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM, TSP et N<sub>2</sub>O. Il n'existe qu'un seul site de production d'UF<sub>4</sub> en France.
- Production de sulfure de carbone (CS<sub>2</sub>) : ce composé est produit à partir de méthane et d'octasoufre ( $\text{CH}_4 + 1/2 \text{S}_8 \rightarrow \text{CS}_2 + 2 \text{H}_2\text{S}$ ). Le procédé est à l'origine d'émissions de SO<sub>2</sub>. Il n'existe qu'un seul site en France produisant ce composé.
- Production tétrachlorure de titane (TiCl<sub>4</sub>) : le procédé de production utilisé en France est le procédé par carbo-chloration ( $2\text{TiO}_2 + 4 \text{Cl}_2 + 3\text{C} \rightarrow 2\text{TiCl}_4 + 2 \text{CO} + \text{CO}_2$ ). L'apport de carbone est réalisé au moyen de coke de pétrole. La réaction occasionne des émissions de CO<sub>2</sub> et de CO. Il n'existe qu'un seul site de production de TiCl<sub>4</sub> en France.
- Production de N<sub>2</sub>O médical et industriel : il n'existe qu'un seul site en France produisant du N<sub>2</sub>O médical et industriel. Au cours de la fabrication du N<sub>2</sub>O, celui-ci

est rejeté dans l'atmosphère à un certain nombre d'étapes du procédé (purges des cuves de stockage et du process, *etc.*).

- Diverses productions : deux activités sont considérées ici : la production de pigments et colorants à l'origine d'émissions de SO<sub>2</sub> et la chimie du soufre depuis 2000 en lien avec l'extraction du gaz naturel à l'origine d'émissions de SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>. Avant 2000, cette seconde activité est prise en compte par le site d'extraction du gaz naturel à Lacq.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

#### Acide sulfurique

Jusqu'en 2008, les productions annuelles d'acide sulfurique sont disponibles dans les statistiques nationales [53], [118]. Depuis 2009, les données de production déclarées par les exploitants sont utilisées [19].

#### Production d'engrais

Les productions nationales d'engrais sont connues à partir des données de l'UNIFA (union des industries de la fertilisation) [143] ou des statistiques nationales [53] [942] [943]. Pour la production d'urée, les données de production déclarées par les exploitants [19] sont utilisées depuis 2012.

#### Production de TiO<sub>2</sub>

A partir de 1990, les productions annuelles de dioxyde de titane sont obtenues à partir des déclarations annuelles des émissions pour les sites considérés [19].

#### Production de chlore

En France la production totale de chlore gazeux est connue mais on ne dispose pas de la production spécifique à électrolyse à mercure. La production spécifique relative à l'électrolyse à mercure est estimée à partir d'indications sur les capacités annuelles de production de chlore et d'un facteur d'émission communiqués par la profession [50]. A partir de 2004, les productions déclarées annuellement par les sites sont prises en compte [19].

#### Production de H<sub>2</sub>

Jusqu'en 2006, le niveau de production d'hydrogène était disponible dans les statistiques nationales [53]. A partir de 2007, les données de production utilisées proviennent des déclarations des sites de production [19].

Par ailleurs, les consommations de gaz naturel (à usage non énergétique) sont, à partir de 2007, calculées à l'aide des émissions déclarées par les exploitants et d'un facteur d'émission national. Pour les années antérieures, les consommations de gaz naturel sont calculées à partir du niveau de production et d'un facteur d'émission national.

#### Production d'UF<sub>4</sub>

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.

#### Production de CS<sub>2</sub>

Les données de production utilisées proviennent des déclarations du site de production à partir de 2003 [19]. Pour les années antérieures, des interpolations sont effectués. Il est à noter que, selon les règles du secret statistique, le niveau de production de cette activité est confidentiel.

Production de  $TiCl_4$ ,  $N_2O$  et diverses productions

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.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Production de  $H_2$

Jusqu'en 2006, les émissions de  $CO_2$  sont estimées à partir des consommations non énergétiques de gaz naturel en considérant que l'ensemble du carbone entrant dans le procédé sous forme de gaz naturel est émis sous forme de  $CO_2$  et en utilisant un facteur d'émission national (cf. section générale énergie).

A partir de 2007, les émissions de  $CO_2$  proviennent des déclarations des sites de production [19].

La cohérence temporelle est vérifiée en comparant les FE  $CO_2$  recalculés depuis 2007 à partir des données des exploitants avec les FE  $CO_2$  nationaux pour le gaz naturel.

Production de  $TiCl_4$

A partir de 2006, les émissions de  $CO_2$  proviennent des déclarations des sites de production [19]. Pour les années antérieures, les émissions de  $CO_2$  sont estimées à l'aide du facteur d'émission déduit pour l'année 2006.

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Production d' $UF_4$  et  $N_2O$

Les émissions de  $N_2O$  proviennent selon les années de communications [50] ou des déclarations des sites de production [19].

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Production d' $H_2SO_4$  et  $TiO_2$

Depuis 1990, les émissions de  $SO_2$  proviennent des déclarations des sites de production [19]. Pour les années sans information, des reports ou des interpolations sont effectués. Pour les années antérieures, les émissions de  $SO_2$  sont estimées à partir d'un facteur d'émission interpolé.

Production de  $CS_2$

A partir de 2003, les émissions de  $SO_2$  proviennent des déclarations du site de production [19]. Pour les années antérieures, les émissions de  $SO_2$  sont estimées à l'aide d'un facteur d'émission calculé sur la période 2003-2006.

### Diverses productions

Depuis 1990, les émissions de SO<sub>2</sub> proviennent des déclarations des sites de production [19]. Pour les années sans information, des reports ou des interpolations sont effectués. Pour les années antérieures, un report des émissions de 1990 est réalisé.

#### *Emissions de NO<sub>x</sub>*

##### Production de TiCl<sub>4</sub>

Les émissions de NO<sub>x</sub> associées à la production de TiCl<sub>4</sub> sont estimées à partir d'un facteur d'émission fourni dans le guide EMEP/EEA 2016 [971].

##### Production d'UF<sub>4</sub>

A partir de 2003, les émissions de NO<sub>x</sub> proviennent des déclarations du site de production [19]. Pour les années antérieures, les émissions sont estimées à l'aide du facteur d'émission déduit pour l'année 2003.

### Diverses productions

Depuis 1990, les émissions de NO<sub>x</sub> proviennent des déclarations des sites de production [19]. Pour les années sans information, des reports ou des interpolations sont effectués. Pour les années antérieures, un report des émissions de 1990 est réalisé.

#### *Emissions de COVNM*

##### Production d'UF<sub>4</sub>

A partir de 2004, les émissions de COVNM proviennent des déclarations du site de production [19]. Pour les années antérieures, les émissions sont estimées à l'aide du facteur d'émission déduit pour l'année 2004.

#### *Emissions de CO*

##### Production de TiCl<sub>4</sub>

A partir de 2006, les émissions de CO proviennent des déclarations du site de production [19]. Pour les années antérieures, les émissions sont estimées à l'aide du facteur d'émission déduit pour l'année 2006.

#### *Emissions de NH<sub>3</sub>*

##### Production d'engrais

Pour la production de sulfate d'ammonium, les émissions de NH<sub>3</sub> sont estimées à l'aide d'un facteur d'émission par défaut provenant de la littérature [87].

Pour la production de nitrate d'ammonium, d'engrais NKP et d'urée, les émissions de NH<sub>3</sub> proviennent des déclarations des sites de production [19], à partir de 2003. Pour les années précédentes, les émissions sont estimées à partir de facteurs d'émissions interpolés ou reportés.

##### Production d'UF<sub>4</sub>

A partir de 2003, les émissions de NH<sub>3</sub> proviennent des déclarations du site de production [19]. Pour les années antérieures, les émissions sont estimées à l'aide du facteur d'émission déduit pour l'année 2003.

#### *Emissions de poussières totales en suspension (TSP)*

### Production d'engrais

Pour la production de sulfate d'ammonium, d'urée et d'engrais phosphatés, les émissions de TSP sont estimées à l'aide d'un facteur d'émission par défaut provenant du guide EMEP 2016 [948] ou de la littérature [82].

Pour la production de nitrate d'ammonium et d'engrais NKP, les émissions de TSP proviennent des déclarations des sites de production [19], à partir de 2003. Pour les années précédentes, les émissions sont estimées à partir de facteurs d'émission déduits pour l'année 2003.

### Production de $TiO_2$

Les émissions de TSP proviennent de communications [50] ou des déclarations des sites de production [19]. Pour les années sans information, des reports ou des interpolations sont effectués.

### Production de $UF_4$

A partir de 2004, les émissions de TSP proviennent des déclarations du site de production [19]. Pour les années antérieures, les émissions sont estimées à l'aide du facteur d'émission déduit pour l'année 2004.

### Production de $CS_2$

Les émissions de TSP sont estimées à partir de la production de  $CS_2$  et du FE issu du guide EMEP 2023 [1055].

### Production de $H_2$

Les émissions de TSP sont estimées à partir de la production de  $H_2$  et du FE issu du guide EMEP 2023 [1055].

### Production de $N_2O$

Les émissions de TSP sont estimées à partir de la production de  $N_2O$  et du FE issu du guide EMEP 2023 [1055].

### Diverses productions

Les émissions de TSP sont estimées à partir de la production (de DiMéthylSulfOxyde ou de Sulfate Acide de Nitrosyle ou de briques de matières premières) et du FE issu du guide EMEP 2023 [1055].

### ***Emissions de $PM_{10}$ , $PM_{2,5}$ , $PM_{1,0}$***

#### *Production d'engrais*

Pour la production d'engrais NKP et d'engrais phosphatés, les émissions de  $PM_{10}$  et  $PM_{2,5}$  sont estimées au moyen de facteurs d'émission par défaut provenant du guide EMEP 2016 [948] ou de la littérature [49].

### Production de $TiO_2$

Les émissions de  $PM_{10}$  et  $PM_{2,5}$  sont estimées au moyen de facteurs d'émission par défaut provenant de la littérature [183].

### Production de $CS_2$

Les émissions de  $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$  sont estimées à partir des émissions de TSP et d'une répartition par défaut entre TSP,  $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$ , issue du guide EMEP 2023 [1055].

#### Production de $H_2$

Les émissions de  $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$  sont estimées à partir des émissions de TSP et d'une répartition par défaut entre TSP,  $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$ , issue du guide EMEP 2023 [1055].

#### Production de $N_2O$

Les émissions de  $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$  sont estimées à partir des émissions de TSP et d'une répartition par défaut entre TSP,  $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$ , issue du guide EMEP 2023 [1055].

#### Diverses productions

Les émissions de  $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$  sont estimées à partir des émissions de TSP et d'une répartition par défaut entre TSP,  $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$ , issue du guide EMEP 2023 [1055].

#### Emissions de métaux lourds (ML)

##### Production d'engrais

Les émissions de cadmium liées à la production d'engrais phosphatés sont estimées à l'aide d'un facteur d'émission provenant d'une étude du CITEPA réalisée en 1996 [70].

##### Production de chlore

Les émissions de mercure liées à la production de chlore sont estimées à partir des déclarations annuelles des exploitants [19] depuis 2004. Avant 2004, elles sont issues de données communiquées directement par la profession [50].

## Industries metallurgiques (procédés)

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
08/02/2024	CJ	13/02/2024	JV

## SIDERURGIE : PRODUCTION DE COKE, DE FONTE ET D'ACIER

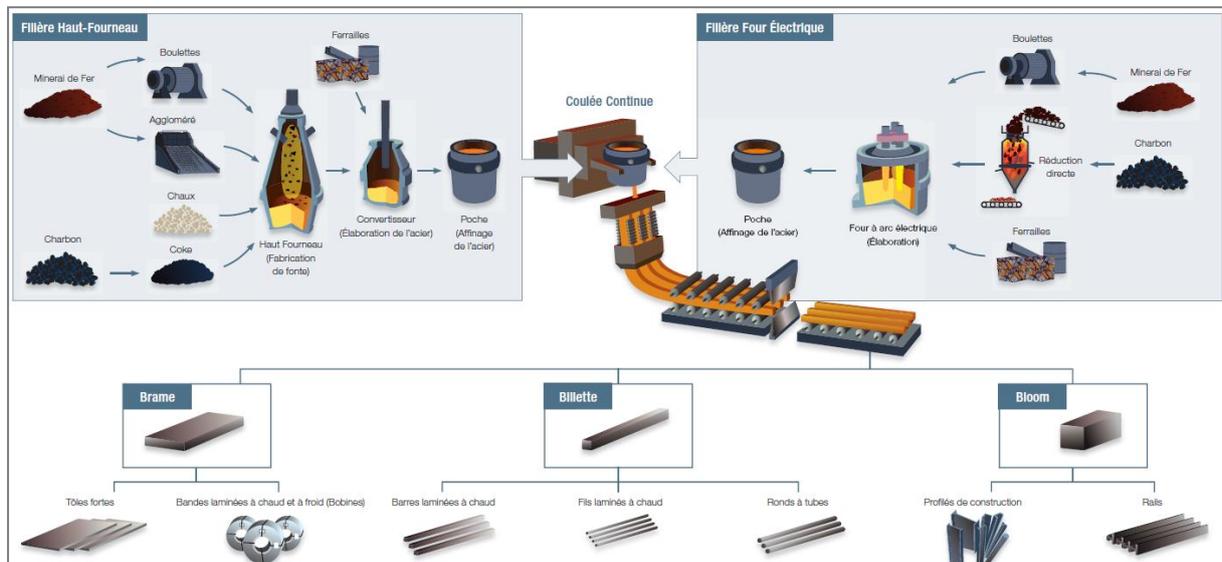
Les activités traitées dans cette section concernent une partie des ateliers sidérurgiques, dans la limite de la partie des procédés non énergétiques.

Les activités couvertes par cette section sont :

- les chaînes d'agglomération,
- les hauts-fourneaux (chargement et coulée),
- les aciéries à l'oxygène,
- les aciéries électriques,
- les laminoirs.

Pour information, la production de ferroalliages est traitée dans la section « 2C2 - ferro alliages ».

Le procédé de production sidérurgique est appelé 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.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.C.1
CEE-NU / NFR	2.C.1
SNAPc (extension CITEPA)	04.02.00, 04.02.02, 04.02.03, 04.02.06, 04.02.07, 04.02.08,
CE / directive IED	2.1, 2.2, 2.3 et 2.4
CE / E-PRTR	2a, b, c, d
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Données de production	Valeurs spécifiques calculées à partir des émissions, de la production nationale ou de ratios vis-à-vis de la production, et des caractéristiques des matières premières ; valeurs par défaut

### Niveau de méthode :

Rangs GIEC 1 ou 2+ du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations.

### Références utilisées :

[17] EMEP / CORINAIR Guidebook 1992

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [27] Fédération française de l'Acier (FFA) / A3M (Alliance des Minerais, Minéraux et Métaux) - Données internes (jusqu'en 2013)
- [50] Données communiquées directement par les exploitants au Citepa
- [53] SESSI - Bulletin mensuel de statistique industrielle
- [70] Citepa - BOUSCAREN R. - Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et de composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996.
- [106] AEAT - UK Particulates and heavy metal emissions from industrial processes - February 2002
- [154] INESTENE, Eléments de base pour une prospective des émissions totales de particules primaires à l'horizon 2030, août 2001
- [183] Citepa - IER - Study on particulate matter emissions: particle size distribution chemical composition and temporal profiles - Interreg III for ASPA, January 2005
- [276] ADEME - Détermination de la granulométrie des aérosols dans les émissions diffuses d'ateliers sidérurgiques : PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub> et PM<sub>0,1</sub> - janvier 2004
- [323] LECES - Données communiquées par le Ministère de l'Environnement, courrier du 19 février 1996
- [588] EMEP / CORINAIR Guidebook 1999 - section B427-5 à 7
- [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
- [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
- [1287] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 2.C.1

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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 (2C1f - Autres). Cette activité n'est pas traitée dans la partie Production de ferroalliages (2C2), 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.

## Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

### Introduction

Les productions nationales des différents ateliers sidérurgiques sont fournies par différentes sources : les déclarations annuelles (dont les déclarations au titre du SEQUE-UE<sup>16</sup>) [19], la fédération professionnelle [27] et le SESSI [53].

Les facteurs d'émission sont calculés d'après les informations relatives aux différents sites [19, 50] et aux caractéristiques des matières et procédés [27].

Il convient de noter que la distinction entre les émissions liées à la combustion (1A2a) et les émissions liées au procédé (2C1) est réalisée en fonction de l'atelier sidérurgique, des natures des intrants et de la prise en compte des lignes directrices pour la réalisation des inventaires.

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

Par exemple, l'atelier de production de fonte (au sein du haut-fourneau) utilise du coke et des charbons comme agents réducteurs (matières premières → 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 des émissions entre la combustion et le procédé est réalisée de différentes façons selon la nature des intrants, selon les substances considérées (cf. sections dédiées aux émissions par polluant) et en considérant les lignes directrices pour la réalisation des inventaires des émissions. A partir de 2014, les données fournies par la fédération professionnelle [27] ne sont plus disponibles. Afin d'estimer les consommations de combustible pour les ateliers : agglomération, hauts-fourneaux, et 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 (2C1f - Autres), seules les émissions de CO<sub>2</sub> sont actuellement estimées et proviennent des déclarations annuelles du site [19]. Les données sont confidentielles.

---

<sup>16</sup> 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

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

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 :

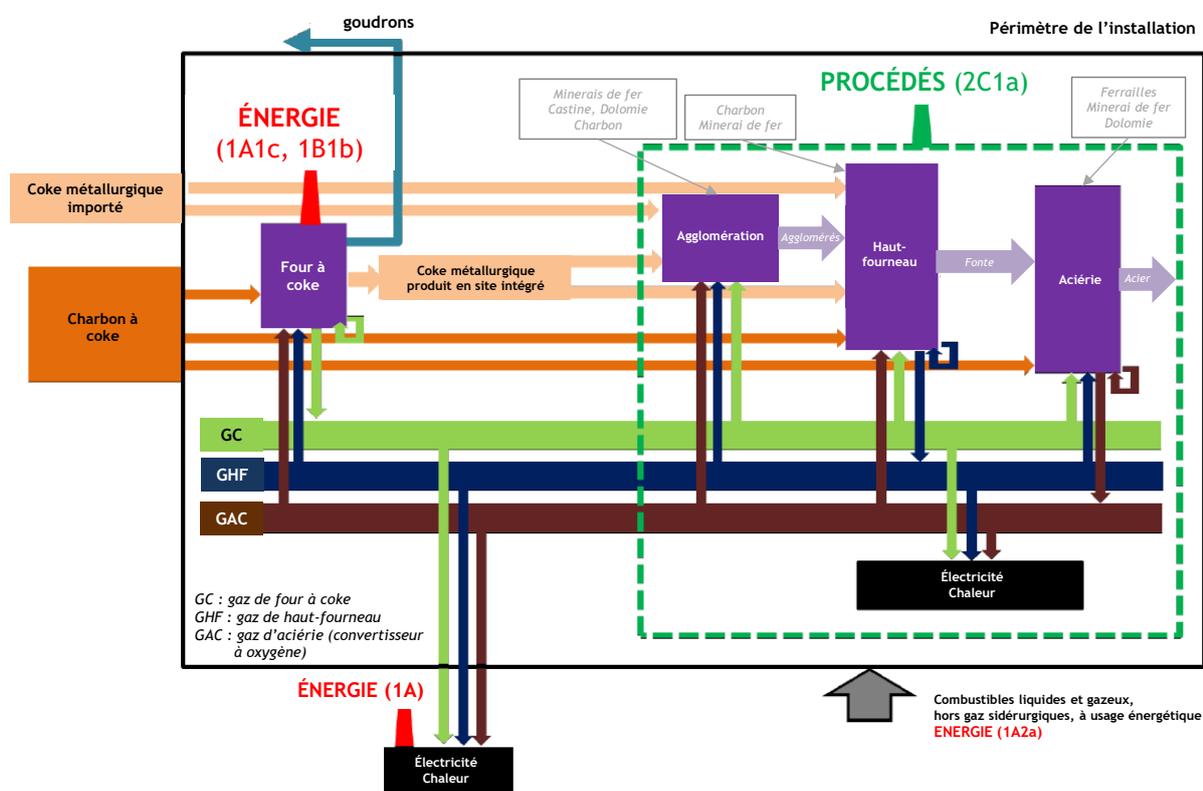


Schéma tiré des Lignes directrices du GIEC - Refinement 2019 (V3\_CH04\_Figure 4.8d), et adapté à la situation française

### Emissions de CO<sub>2</sub>

Les émissions de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> déclarées par les installations soumises au SEQE, depuis 2005,

E CO <sub>2</sub> cokeries :	les émissions de CO <sub>2</sub> issues des cokeries (affectées au secteur Energie 1A1c),
E CO <sub>2</sub> combustion :	Les émissions de CO <sub>2</sub> 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 CO <sub>2</sub> GIC	les émissions de CO <sub>2</sub> issues de la combustion de combustibles pour la production de chaleur ou d'électricité des installations GIC (installations de combustion de puissance supérieure à 50 MW) (affectées au secteur Energie 1A).

➤ *De 1990 à 2004 :*

Pour la série temporelle 1990-2004, les émissions de CO<sub>2</sub> 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 :*

$$\begin{aligned}
 E \text{ CO}_2 \text{ procédé (2C1)} &= E \text{ CO}_2 \text{ acier O}_2 \text{ (hors gaz nat, liq)} + E \text{ CO}_2 \text{ acier élec (hors gaz nat, liq)} + E \text{ CO}_2 \text{ autres ateliers (hors} \\
 \text{gaz nat, liq)} &= \text{Prod.}_{\text{acier O}_2} \times \text{FE CO}_2 \text{ moyen acier O}_2 \text{ (hors gaz nat, liq, hors cokerie) (2005-2011)} \\
 &\quad + \text{Prod.}_{\text{acier élec}} \times \text{FE CO}_2 \text{ moyen acier élec (hors gaz nat, liq) (2005-2018)} \\
 &\quad + \% \text{ moyen autres ateliers (hors gaz nat, liq)} \times E \text{ CO}_2 \text{ totales}
 \end{aligned}$$

Avec :

FE CO <sub>2</sub> moyens	les FEs CO <sub>2</sub> moyens (aciéries O <sub>2</sub> et aciéries électriques) sont estimés grâce aux émissions de CO <sub>2</sub> et productions déclarées par les installations soumises au SEQE, avec :
FE CO <sub>2</sub> moyen acier O <sub>2</sub> (hors gaz nat, liq, hors cokerie) (2005-2011)	pour les émissions des sites intégrés produisant de l'acier grâce un convertisseur O <sub>2</sub> , le FE est pris égal à la moyenne 2005-2011. En effet, l'un des sites sidérurgiques intégrés n'a conservé que sa cokerie après 2011.
FE CO <sub>2</sub> moyen acier élec (hors gaz nat, liq) (2005-2018)	pour le FE CO <sub>2</sub> moyen des aciéries électriques, la moyenne est prise sur la série temporelle 2005-2019.
% 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 CO <sub>2</sub> dites « procédé » (E CO <sub>2</sub> totales), qui représentent environ 2,7% de ce total.

Les déclarations des émissions des exploitants ne permettant pas de faire une distinction précise des émissions par atelier, l'ensemble des émissions de CO<sub>2</sub> liées au procédé sont allouées au secteur CRF 2C1a - production d'acier.

La variation annuelle du facteur d'émission de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> proviennent de la décarbonatation de la castine). La matière première principale est le *minerai de fer*, qui peut contenir une faible quantité de carbone (élaboration d'agglomérés de minerai de fer pour la production de fonte puis d'acier dans les usines sidérurgiques intégrées, ou élaboration d'agglomérés divers (ferromanganèse par exemple)).

Les émissions de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> d'un site de valorisation de résidus métalliques sous forme de ferroalliages. Le procédé est proche d'un four électrique de sidérurgie. Les émissions sont des émissions liées au procédé de fabrication, qui comprend un four électrique constitué d'électrodes en carbone, l'apport d'agents réducteurs (anthracite puis coke) et de résidus métalliques pouvant contenir du carbone. Les émissions de CO<sub>2</sub> sont issues des déclarations annuelles du site [19]. Seules des émissions de CO<sub>2</sub> sont considérées pour ce site, et allouées au secteur CRF 2C1f.

### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Les ateliers « Agglomération de minerai », « Convertisseurs à oxygène » et « Aciéries électriques » sont considérés comme émetteurs de CH<sub>4</sub>.

Comme pour le CO<sub>2</sub>, les émissions de CH<sub>4</sub> 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 CH<sub>4</sub> sont connues annuellement, site par site depuis 2003 [19]. A l'aide de la production nationale d'agglomérés, un facteur d'émission moyen est recalculé. Pour rapporter les émissions liées à la combustion par type de combustible, les facteurs d'émission standards nationaux par combustible sont utilisés, pondérés par le facteur d'émission issu des déclarations annuelles (afin d'assurer la cohérence avec les émissions déclarées). Du fait de la méthodologie décrite en début du paragraphe « Emissions de CH<sub>4</sub> », ces émissions sont allouées au secteur 2C1a-Steel production. Avant 2003, un facteur d'émission moyen basé sur les données de 2003 et 2004 est appliqué.

➤ **Convertisseurs à oxygène**

Le calcul des émissions de CH<sub>4</sub> est effectué sur la base d'un facteur d'émission provenant du Guidebook EMEP / CORINAIR [17] et de la production d'acier par les convertisseurs à oxygène.

➤ **Aciéries électriques**

Le facteur d'émission est calculé sur la base de la production d'acier par les aciéries électriques et des déclarations annuelles à partir de 2006 [19]. Avant 2006, un facteur d'émission moyen calculé sur les années 2006-2008 est appliqué aux productions des années antérieures.

**Emissions de N<sub>2</sub>O**

Pas d'émission attendue. Cf. section 1A2a.

**Emissions de Gaz fluorés**

Pas d'émission attendue.

**Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

**Emissions de SO<sub>2</sub>**

➤ **Coulée des hauts-fourneaux**

Avant 2004, un facteur d'émission moyen est tiré des émissions déclarées annuellement par les exploitants et appliqué à la production nationale de fonte des années antérieures. A partir de 2004, les données des déclarations annuelles sont utilisées [19, 27].

➤ **Convertisseurs à oxygène**

Les émissions de SO<sub>2</sub> de ces aciéries sont disponibles pour tous les sites depuis 1998 [19]. Avant cette date, une valeur moyenne est appliquée à la production nationale d'acier par les fours à oxygène.

➤ **Aciéries électriques**

A partir de 2006, les facteurs d'émission sont calculés sur la base des données des déclarations annuelles des aciéries électriques [19]. Un facteur d'émission moyen calculé pour 2006-2008 est appliqué à la production nationale d'acier pour les années antérieures à 2006.

### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

#### ➤ *Coulée des hauts-fourneaux*

Avant 2004, un facteur d'émission moyen est tiré des déclarations annuelles et appliqué sur les années antérieures. A partir de 2004, les émissions déclarées annuellement par les exploitants sont utilisées [19, 27].

#### ➤ *Convertisseurs à oxygène*

Les émissions de NO<sub>x</sub> de ces aciéries sont disponibles pour tous les sites depuis 1998 [19]. Avant cette date, une valeur moyenne est appliquée à la production nationale d'acier correspondant aux sites non connus individuellement.

#### ➤ *Aciéries électriques*

A partir de 2006, les facteurs d'émission sont calculés sur la base des données d'émissions et de production d'acier déclarées annuellement par les aciéries électriques [19]. Un facteur d'émission moyen calculé pour 2006-2008 est appliqué pour les années antérieures à 2006.

### **Emissions de COVNM**

#### ➤ *Convertisseurs à oxygène*

Pour les COVNM, un facteur d'émission moyen issu du Guidebook EMEP/CORINAIR [588] est appliqué à la production nationale d'acier.

#### ➤ *Aciéries électriques*

A partir de 2006, les facteurs d'émission sont calculés sur la base des données d'émission et de production d'acier des déclarations annuelles des aciéries électriques [19]. Un facteur d'émission moyen calculé pour 2006-2008 est appliqué pour les années antérieures à 2006.

#### ➤ *Laminoirs*

Un facteur d'émission moyen est calculé à partir des données nationales de fabrication de produits laminés à froid et à chaud, issues de la fédération professionnelle, et de deux facteurs d'émission qui proviennent du Guidebook EMEP/CORINAIR [588] : un facteur d'émission pour le laminage à froid et un facteur d'émission pour le laminage à chaud.

### **Emissions de CO**

#### ➤ *Chargement et coulée des hauts-fourneaux*

Le facteur d'émission varie selon les années en fonction des quantités de gaz à haut-fourneau rejetées ou captées par les sites [27] et de la production nationale de fonte. Le facteur d'émission moyen national est exprimé en kg CO/ Mg de fonte produite.

#### ➤ *Convertisseur à oxygène*

Le facteur d'émission issu du Guidebook EMEP/CORINAIR [588] est retenu et appliqué à la production nationale d'acier.

#### ➤ *Aciéries électriques*

A partir de 2006, les facteurs d'émission sont calculés sur la base des données des déclarations annuelles des aciéries électriques [19]. Un facteur d'émission moyen calculé pour 2006-2008 est appliqué pour les années antérieures à 2006.

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables.

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Les activités de la sidérurgie émettent des particules au niveau de la coulée de la fonte brute, des convertisseurs à oxygène, des aciéries électriques et des laminoirs.

➤ *Coulée des hauts-fourneaux et convertisseurs à oxygène*

Le facteur d'émission des TSP est déterminé à partir des informations contenues dans les déclarations annuelles des rejets [19] et de données communiquées directement par les exploitants [50].

➤ *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission des poussières entre 1990 et 2005 est calculé sur la base de données disponibles pour l'année 1994 et évolue pour tenir compte de l'installation de systèmes de dépoussiérage sur les sites. A partir de 2006, ce facteur d'émission est déterminé à partir des déclarations annuelles [19].

➤ *Laminoirs*

Les facteurs d'émission proviennent de l'INESTENE [154] : un facteur d'émission pour le laminage à froid et un facteur d'émission pour le laminage à chaud. Le facteur d'émission global est recalculé à partir des données de fabrication de produits laminés à froid et à chaud.

➤ *Emissions liées au stockage, manutention et transport de minerai de fer et autres matières (2C7d)*

Les émissions de poussières diffuses et canalisées liées au stockage, à la manutention et au transport de minerai de fer et d'autres matières premières sont incluses dans les déclarations annuelles des exploitants, dont les émissions de poussières sont rapportées en 2C1 et 1A2a (notées « IE » dans les tables NFR pour le secteur NFR 2C7d). Les exploitants indiquent que les émissions diffuses (atelier, parcs matières, manutention, route) sont calculées grâce à des campagnes de mesures et à un logiciel de modélisation basé sur la méthode issue de l'US EPA AP-42.

La réduction des émissions de poussières diffuses est réalisée par pulvérisation d'un produit de laquage sur les tas de matières premières entreposées, mise en place dans les années 2010.

### **Emissions de PM10, PM2,5, PM1,0**

➤ *Coulée des hauts-fourneaux et convertisseurs à oxygène*

En 1990, les granulométries proviennent de « UK Particulates and heavy metal emissions from industrial processes » [106]. Pour les années entre 1990 et 2010, elles sont interpolées afin de tenir compte de la mise en place progressive des systèmes de traitement des poussières au cours du temps. Les granulométries à partir de 2010 proviennent de campagnes de mesures réalisées par les sites et compilées par la fédération professionnelle [27].

➤ *Aciéries électriques*

La granulométrie est basée sur l'étude ADEME de 2004 relative à la « détermination de la granulométrie des aérosols dans les émissions diffuses d'ateliers sidérurgiques » [276].

➤ *Laminoirs*

La granulométrie provient de campagnes de mesures réalisées par la profession. Elle est considérée comme constante au cours de la période car les laminoirs n'ont pas bénéficié d'améliorations significatives pour le traitement des poussières.

### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

➤ *Convertisseurs à oxygène et aciéries électriques*

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA sur les inventaires d'émissions de polluants [769].

### **Métaux lourds (ML)**

Les activités émettant des métaux lourds dans la sidérurgie sont la coulée des hauts-fourneaux, les convertisseurs à oxygène et les aciéries électriques.

Tous les métaux lourds inventoriés dans le SNIEBA sont émis. L'évolution des facteurs d'émission est liée aux diverses améliorations apportées par les exploitants, notamment captage, équipements de dépollution, meilleure gestion des approvisionnements des matières premières, meilleure efficacité, etc. Toutefois, des écarts ponctuels sont observables certaines années, du fait de la teneur fluctuante en métaux des différents lots de matières premières, amplifiés ensuite par les volumes consommés.

➤ *Convertisseurs à oxygène*

Les facteurs d'émission des métaux lourds (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, et Zn, hors Se) sont déduits des déclarations annuelles [19] à partir de 2006. Pour les années antérieures, une estimation est effectuée sur la base des caractéristiques des dépoussiéreurs des différentes installations [50].

Arsenic

➤ *Coulée des hauts-fourneaux*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2004. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2004.

➤ *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] des années 2002, 2003, 2006 et suivantes. L'estimation pour 2004 et 2005 est un report de 2003. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2002.

Cadmium

➤ *Coulée des hauts-fourneaux*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2003. La moyenne de la période 2003 - 2005 est appliquée aux années antérieures jusqu'en 1990.

➤ *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2002. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 [70]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre 1990 et 2002.

Chrome

➤ *Coulée des hauts-fourneaux*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2002. L'année 2001 est estimée comme la moyenne des années 2002 à 2005. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2001.

➤ *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] des années 2002, 2003, 2006 et suivantes. L'estimation pour 2004 et 2005 est un report de 2003. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2002.

Cuivre

➤ *Coulée des hauts-fourneaux*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2002. Les années antérieures sont déterminées à partir du ratio des facteurs d'émission TSP/Cu de l'année 2002.

➤ *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] des années 2002, 2003, 2006 et suivantes. L'estimation pour 2004 et 2005 est une moyenne des données de 2002 et 2003. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2002.

### Mercur

#### ➤ *Coulée des hauts-fourneaux*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2004. La moyenne de la période 2004 - 2005 est appliquée aux années antérieures jusqu'en 1990.

#### ➤ *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2004. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 [70]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre 1990 et 2004.

### Nickel

#### ➤ *Coulée des hauts-fourneaux*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2003. L'année 2002 est estimée comme la moyenne des années 2003 à 2005. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2002.

#### ➤ *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] des années 2002, 2003, 2006 et suivantes. L'estimation pour 2004 et 2005 est un report de 2003. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2002.

### Plomb

#### ➤ *Coulée des hauts-fourneaux*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2003. L'année 2002 est estimée comme la moyenne des années 2003 à 2005. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2002.

#### ➤ *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2003. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2003.

### Sélénium

#### ➤ *Coulée des hauts-fourneaux*

Les données obtenues proviennent de la fédération professionnelle [27] et concernent seulement certaines années. Celles-ci sont très variables. Le facteur d'émission retenu pour toute la période est la moyenne des années 2006 à 2008 (années les plus documentées).

#### ➤ *Aciéries à l'oxygène et aciéries électriques*

Les émissions sont supposées nulles.

### Zinc

#### ➤ *Coulée des hauts-fourneaux*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2002. Les années antérieures sont déterminées à partir du ratio des facteurs d'émission TSP/Cu de l'année 2002.

➤ *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2002. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2002.

***Dioxines et furannes (PCDD-F)***

Les dioxines et furannes sont émis significativement par les aciéries électriques. Depuis 1998, les données disponibles par site dans les déclarations annuelles [19] sont utilisées. Un facteur d'émission national moyen en est déduit. Le facteur d'émission évolue à la suite de la mise en place de systèmes d'épuration des effluents.

Pour les années antérieures à 1998, le facteur d'émission est basé sur les résultats des enquêtes plomb et dioxines [7] et sur des hypothèses de décroissance des flux depuis les années 1990.

***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

➤ *Coulée des hauts-fourneaux*

La spéciation des facteurs d'émission provient de résultats de mesures [50].

➤ *Aciéries électriques*

Seul un facteur d'émission pour les HAP totaux est utilisé. Il provient d'une étude [70].

***Polychlorobiphényles (PCB)***

Les PCB sont émis par les aciéries électriques. Le facteur d'émission utilisé provient du Guidebook EMEP/EEA sur les inventaires d'émissions de polluants [769].

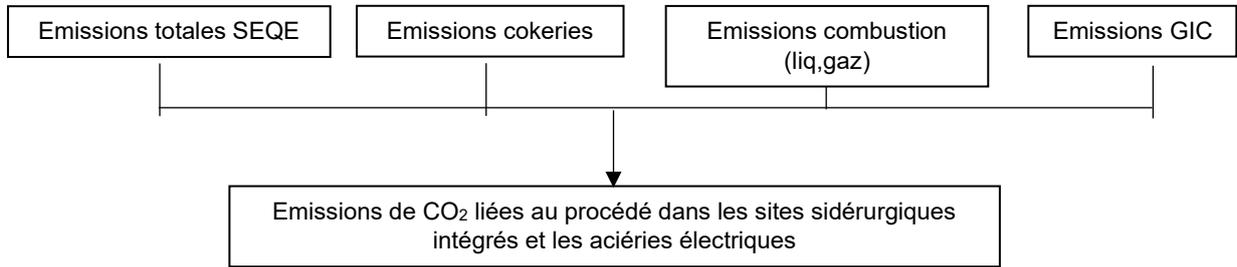
***Hexachlorobenzène (HCB)***

Les émissions de HCB sont issues du procédé de fabrication de fonte et d'acier au sein des différents ateliers : agglomération de minerai, haut-fourneau, aciérie à l'oxygène.

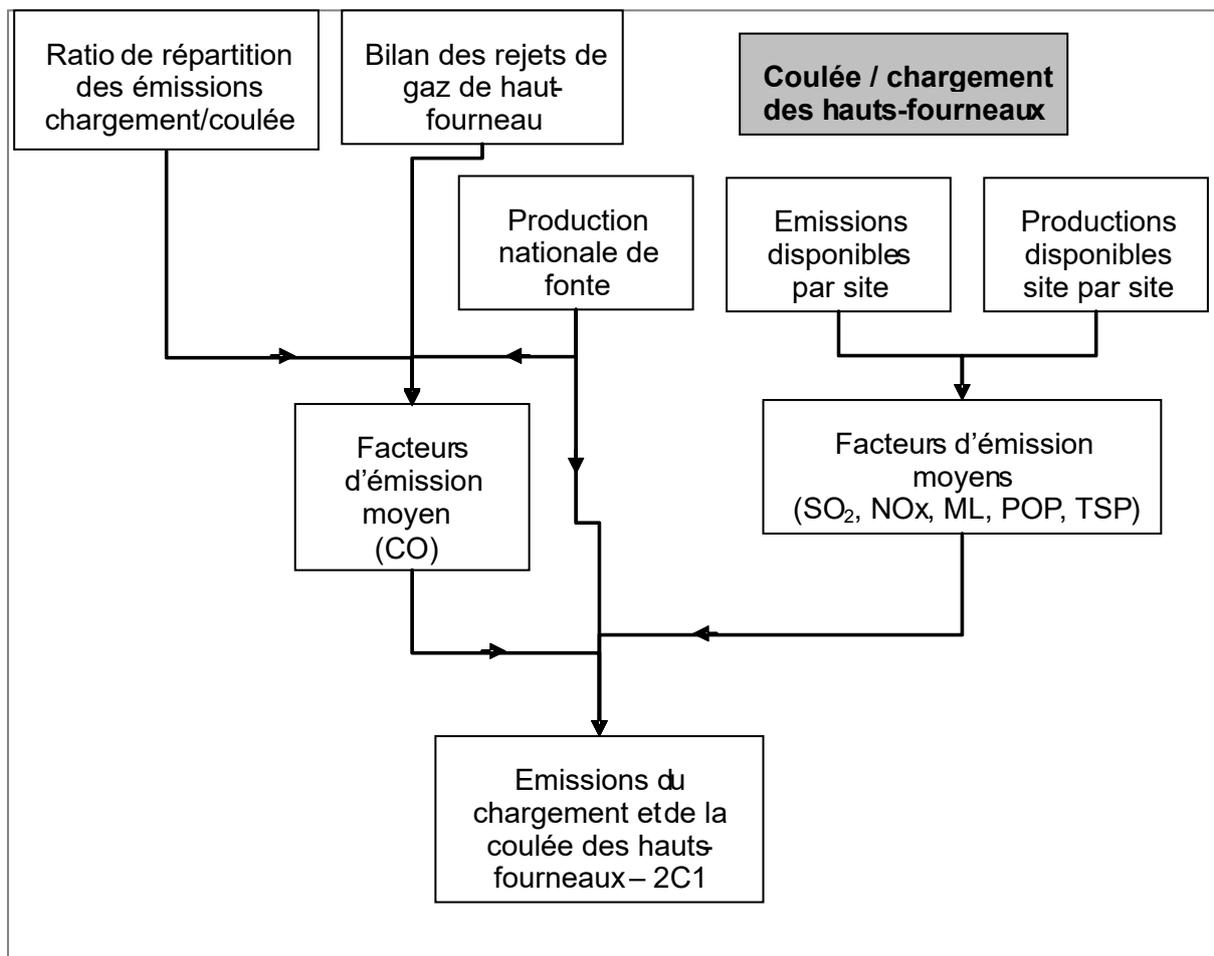
Le facteur d'émission, issu du Guidebook EMEP/EEA sur les inventaires d'émissions de polluants [769], couvre l'ensemble des procédés {agglomération de minerai, haut-fourneau, aciérie à l'oxygène}. Il est appliqué à la production nationale d'acier dans les sites intégrés (aciérie à l'oxygène).

## Logigramme du processus d'estimation des émissions.

Estimation des émissions de CO<sub>2</sub> (ensemble du procédé agglomération - haut-fourneau - aciéries) :



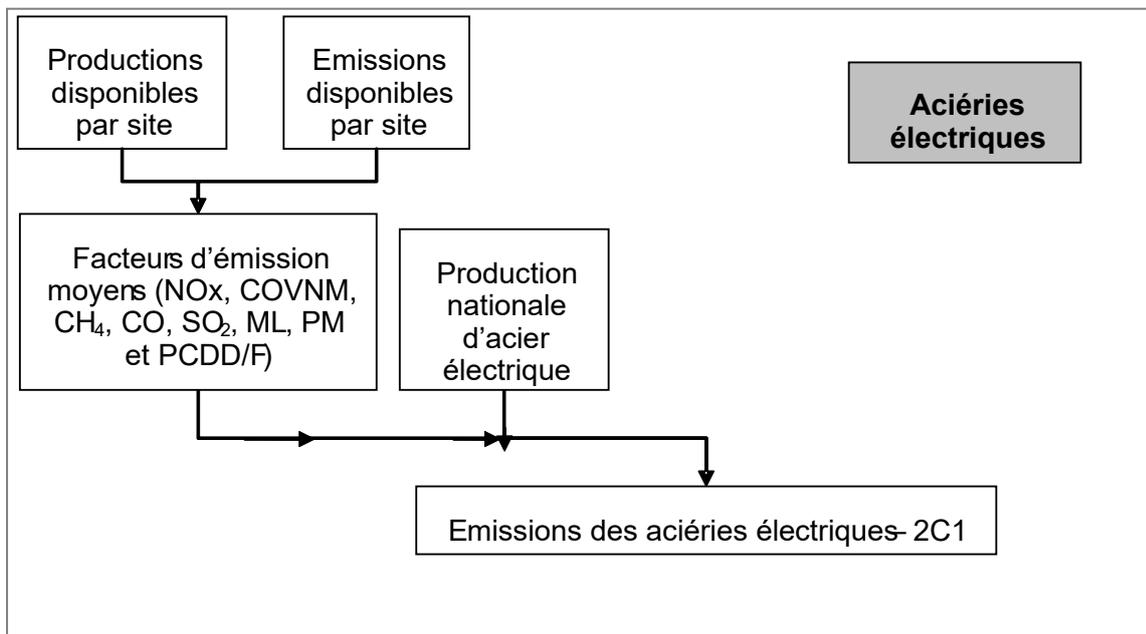
Estimation des émissions - Hauts-fourneaux



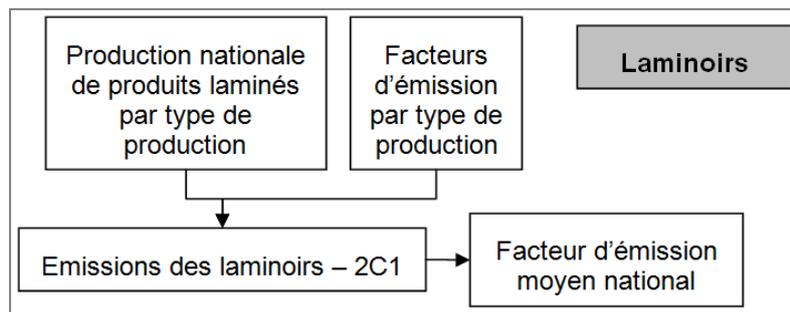
Estimation des émissions - Aciéries à l'oxygène



Estimation des émissions - Aciéries électriques



Estimation des émissions - Laminaires



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
08/02/2024	CJ	13/02/2024	JV

## FERRO-ALLIAGES

Cette section couvre la production de ferro-alliages.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2C2
CEE-NU / NFR	2C2
SNAPc (extension CITEPA)	040302
CE / directive IED	2.5
CE / E-PRTR	2e
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Volumes de production	Valeurs nationales annuelles Valeurs par défaut

### Niveau de méthode :

Rangs GIEC 1, 2 et 3.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [50] Données communiquées directement par les exploitants au CITEPA
- [418] E. TRUFFAUT - La fabrication du ferro-manganèse aux hauts-fourneaux en France, Soleils d'Acier, 2004
- [538] EMEP/EEA emission inventory guidebook 2016 - Chapitre 2.C.2 Ferroalloys 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
- [950] 2006 IPCC Guidelines, Volume 3 chapter 4 - Metal industry - Table 4.7 (pp 4.39)
- [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)
- [1087] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019 - Part B section 2C2 Ferroalloys production

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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 de l'antracite et non du coke pour le procédé de réduction.

#### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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.

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

##### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

###### Métropole

Pour le procédé électrique, le facteur d'émission du CO<sub>2</sub> 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 le procédé hauts fourneaux, il n'y a plus d'émissions depuis la fermeture du dernier site en 2003. Pour les années antérieures, le facteur d'émission provient des lignes directrices du GIEC 2006 [959].

###### Outre-Mer (périmètre CCNUCC)

Il existe trois sites en Nouvelle-Calédonie depuis l'ouverture d'une installation en 2013. Les facteurs d'émission sur la période sont calculés à partir des productions et émissions connues pour les années 2005 à 2022 pour un premier site, 2013 à 2021 pour un second, 2009 à 2016 pour le troisième. Compte tenu du nombre limité de sites, les facteurs d'émission sont confidentiels.

##### **Emissions de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O**

Les émissions de CH<sub>4</sub> sont estimées uniquement pour la production de ferrosilicium et d'alliages de silicium [950]. Un seul site a produit du FeSi puis du silicomanganèse. Les données sont confidentielles.

Les émissions de N<sub>2</sub>O sont négligées [950].

##### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances.

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

### *Emissions de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO et COVNM*

La production de ferroalliage est potentiellement émettrice de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO et COVNM. Certains de ces polluants apparaissent dans les déclarations annuelles selon les sites [19]. Ils sont également cités dans le Guidebook EMEP/EEA [1087] mais ne sont pas estimés. Ces émissions proviendraient éventuellement des matières premières utilisées, suivant le procédé mis en œuvre, et de la combustion (considérée séparément). Compte tenu du peu d'informations disponibles actuellement, ces émissions sont en cours d'investigation pour déterminer la part exacte provenant du procédé.

### *Emissions de NH<sub>3</sub>*

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables.

### *Emissions de poussières totales en suspension (TSP)*

Un facteur d'émission moyen est calculé à partir des mesures disponibles depuis 2005 sur les deux sites existants [19].

Compte tenu du nombre limité de producteurs, les données détaillées sont confidentielles.

### *Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>*

Les émissions de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont estimées grâce à la granulométrie fournie dans le Guidebook EMEP/EEA [1087]. Par hypothèse conservatrice, le facteur d'émission des PM<sub>1,0</sub> est considéré égal à celui des PM<sub>2,5</sub>.

### *Emissions de carbone suie / black carbon (BC)*

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA 2019 sur les inventaires d'émissions de polluants (Table 3.1)[1087].

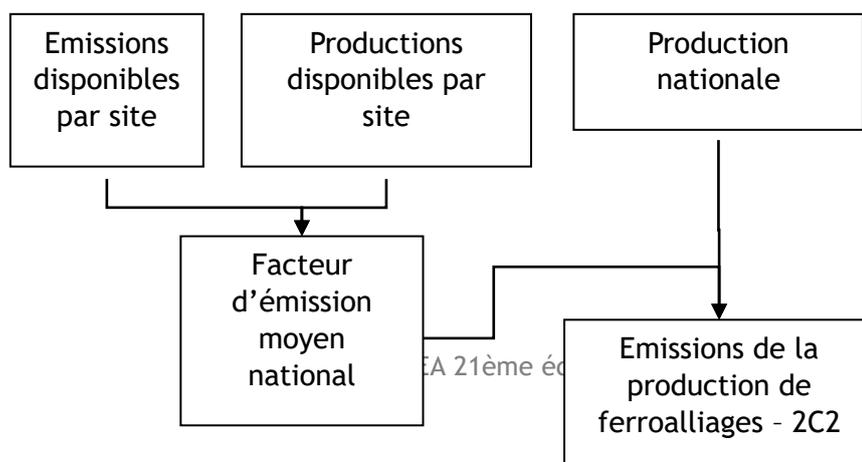
### *Métaux lourds (ML)*

La production de ferroalliages émet des métaux lourds lors de la fusion. Les émissions dépendent beaucoup du type de ferroalliage produit et de la température de fusion.

Un facteur d'émission moyen est calculé à partir des mesures disponibles depuis 2005 sur les deux sites existants en métropole [19].

Compte tenu du nombre limité de producteurs, les données détaillées sont confidentielles.

## Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
27/01/2021	CJ	01/02/2021	JV

## PRODUCTION DE SILICIUM

Cette section concerne uniquement les émissions de CO<sub>2</sub> procédé de la production de silicium, ferrosilicium et silico-alliages du fait de l'utilisation d'agents réducteurs. Les émissions de CO<sub>2</sub> 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.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2C2
CEE-NU / NFR	2C2
SNAPc (extension CITEPA)	040309
CE / directive IED	2.3 à 2.5
CE / E-PRTR	2c et 2e
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Quantités entrantes de réducteurs	Facteurs d'émission spécifiques aux réducteurs et émissions déclarées

### Niveau de méthode :

CO<sub>2</sub> : Rang 2 et 3

CH<sub>4</sub> : Rang 1

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[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)

[950] 2006 IPCC Guidelines, Volume ,3 chapter 4, table 4.7 (pp 4.39)

[1081] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 1A2 Manufacturing industries

### Caractéristiques de la catégorie (NIR) :

Certains procédés de la production de silicium, ferrosilicium et silico-alliages, sont à l'origine d'émissions de CO<sub>2</sub> 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.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

#### 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 :

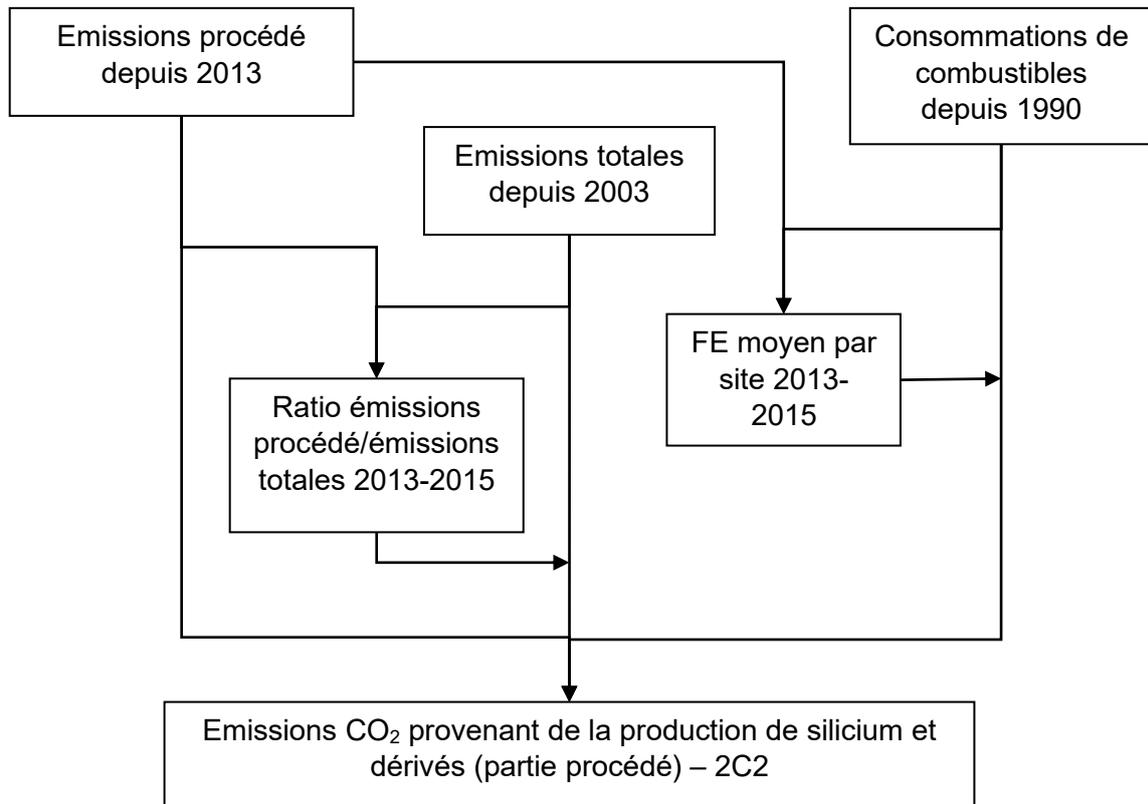
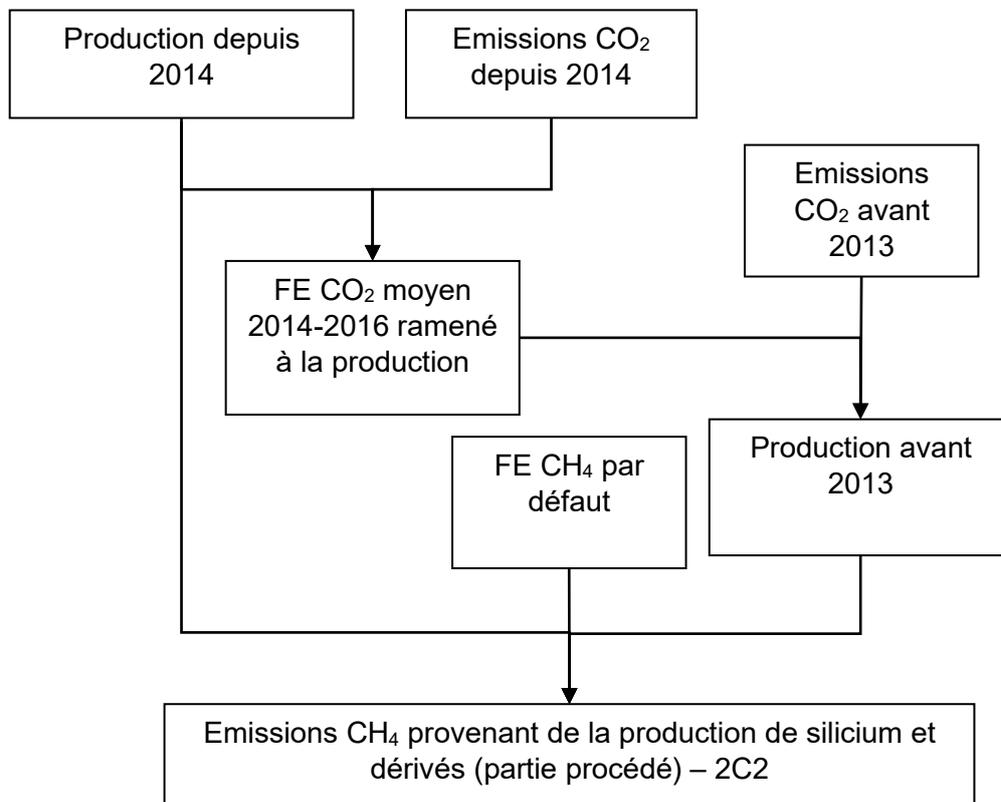
Les émissions sont estimées à partir des données de consommations, issues des enquêtes statistiques [26] ou reportées de l'année 2003, et des facteurs d'émission moyens sur la période 2013-2015.

### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Les émissions de CH<sub>4</sub> sont estimées à partir d'une méthodologie Tier 1 et d'un facteur d'émission issu des lignes directrices 2006 [950]. La production n'est pas disponible dans les statistiques sur toute la série temporelle et n'est connue qu'à partir de 2014 pour les 5 sites pris dans le bottom up. La production des années antérieures est estimée à partir des émissions CO<sub>2</sub> et du FE CO<sub>2</sub> moyen des années 2014 à 2016.

### **Hexachlorobenzène (HCB)**

Les émissions de HCB sont estimées à partir des consommations de combustibles et de facteurs d'émission tirés du Guidebook EMEP/EEA 2019 (tables 3.1 à 3.5) [1081].

Logigramme du processus d'estimation des émissions CO<sub>2</sub>Logigramme du processus d'estimation des émissions CH<sub>4</sub>

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
15/02/2024	NSL	15/02/2024	JV

## ALUMINIUM DE PREMIERE FUSION

L'activité concernée dans cette section est la production d'aluminium primaire par électrolyse. Tous les sites sont situés en métropole. A la suite de la fermeture d'un site au début des années 2000, puis d'un second en 2008, il reste actuellement deux sites de production d'aluminium de première fusion en France. Depuis 2014, suite au rachat de l'un des deux sites, un centre de recherche auparavant rattaché à ce site fait une déclaration séparée (faibles volumes de production). La production d'aluminium primaire émet du SO<sub>2</sub>, des COVM, du CO, du CO<sub>2</sub>, des PFC, l'ensemble des métaux lourds inventoriés, des HAP, ainsi que des particules.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2C3
CEE-NU / NFR	2C3
SNAPc (extension CITEPA)	040301
CE / directive IED	2.5
CE / E-PRTR	2e
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Volumes de production	Valeurs spécifiques calculées à partir des émissions et de la production

### Niveau de méthode :

GES : Rang 3

TSP, SO<sub>x</sub>, COVM : Rang 2 et 3

CO, ML, PM, HAP : Rang 2

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[53] SESSI / INSEE - Bulletin mensuel de statistique industrielle

[70] Citepa - BOUSCAREN R. - Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996

[188] AER - Facteurs d'émission pour certains polluants organiques persistants : PCP, HAP, HCB et PCP, octobre 2004 (rapport pour Citepa, non publié)

[222] Données internes à Rio Tinto Alcan

[223] Société de l'industrie minière - Annuaire Statistique Mondial de Minerais et Métaux

[541] Site internet de l'association de l'aluminium du Canada (AAC)

[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

[1079] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2C3 Aluminium production

[1208] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 3, Chapitre 4, section 4.4.2.1

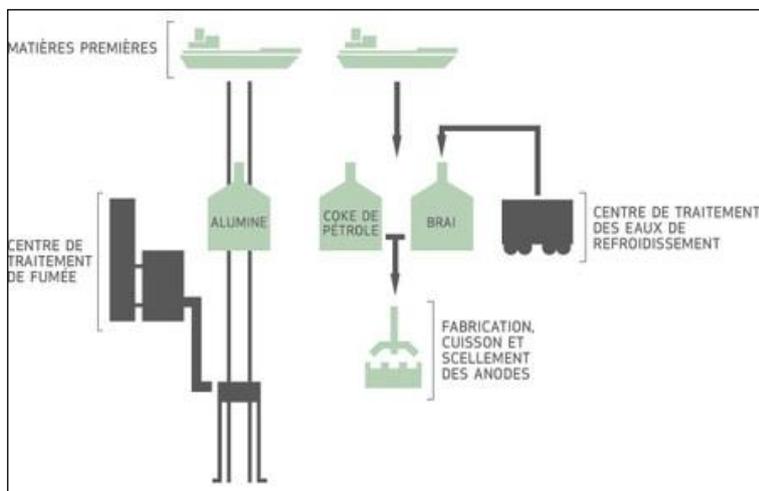
### Caractéristiques de la catégorie :

L'aluminium de première fusion est obtenu par électrolyse de l'alumine selon le procédé découvert en 1886 par le français Paul Héroult et l'américain Charles Hall (procédé Hall-Héroult). Une usine de production d'aluminium primaire comporte trois secteurs : le secteur « carbone », le secteur « électrolyse » et le secteur « fonderie » :

- Secteur « carbone » :

Le secteur « carbone » est le siège de la fabrication des anodes qui serviront à l'électrolyse. Il comprend une tour à pâte, un four à cuire et un atelier de scellement.

Les anodes sont produites à partir de coke de pétrole, de brai liquide et de recyclés d'anodes pour former une pâte. Deux types d'anodes existent : les anodes SØderberg et les anodes précuites. Le procédé de SØderberg produit les anodes en continu, au sein même des cuves d'électrolyse. Ce procédé n'est plus utilisé en France, au profit du procédé des anodes précuites. Celles-ci sont fabriquées à l'extérieur de l'unité d'électrolyse. La pâte est mélangée dans une tour à pâte, puis cuite lentement à environ 1 100 °C dans un four à cuire, afin d'obtenir un bloc de carbone solide. L'anode cuite

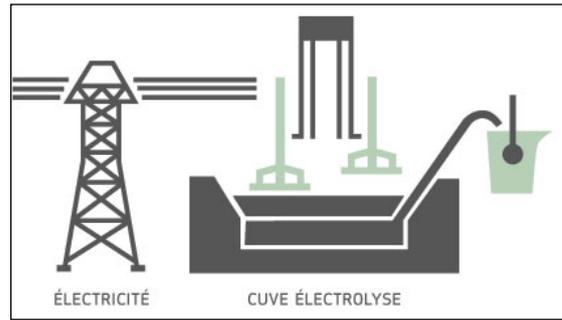


est ensuite scellée à des rondins d'acier surmontés d'une tige en aluminium, elle-même soudée aux rondins grâce à de la fonte.

Environ 430 kg d'anode sont nécessaires pour produire une tonne d'aluminium. Le procédé est schématisé sur la figure ci-contre (source : Association de l'Aluminium du Canada (AAC)[541]).

- Secteur « électrolyse » :

Le procédé consiste à réduire par électrolyse l'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dissoute dans un bain de cryolithe ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) à environ  $1\ 000^\circ\text{C}$ . La cuve dans laquelle se trouve le bain cryolithique fait office de cathode. Un courant électrique de haute densité traverse la cuve d'électrolyse. Ce procédé est électro intensif (environ 14 MWh sont nécessaires pour produire une tonne d'aluminium). L'aluminium se dépose au fond de la cuve tandis que les anodes en carbone se consomment. L'oxygène provenant de l'alumine réagit avec le carbone des anodes et engendre des émissions de  $\text{CO}_2$ . Cette consommation de carbone oblige à remplacer régulièrement les anodes. Une tonne d'aluminium produite nécessite environ deux tonnes d'alumine. L'aluminium liquide se dépose au fond de la cuve et est régulièrement prélevé par "siphonage" dans une poche, qui est transférée dans un four d'attente à la fonderie. Les cuves sont entièrement capotées afin de capter les gaz qui s'échappent du bain lors de l'électrolyse (ces gaz contiennent notamment du fluor provenant de la cryolithe) et de les envoyer vers un dispositif d'épuration où le fluor est récupéré par fixation sur de l'alumine fraîche. Le procédé peut être schématisé comme ci-dessus (AAC).

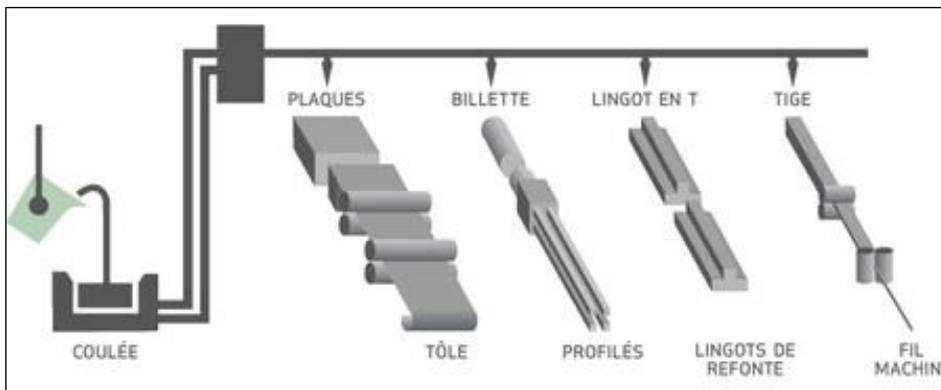


- Secteur « fonderie » :

Ce secteur est dédié à la production d'alliages. A la sortie de la cuve d'électrolyse, les alliages sont effectués dans un four. D'autres métaux sont ajoutés à l'aluminium dans des proportions précises pour obtenir des alliages aux propriétés souhaitées par les clients. L'aluminium est ensuite dégazé avant d'être libéré des dernières impuretés, avant d'être solidifié sous des formes variées :

- des plaques de laminage pour la fabrication de tôles utilisées pour les ailes d'avion, les citernes, les bardages, etc. ;
- des billettes de filage pour la fabrication de châssis et armatures de véhicules ferroviaires et routiers, la menuiserie métallique, les bâtons de ski, etc. ;
- du fil machine à usage électrique essentiellement ;
- des lingots en aluminium ou en alliages destinés notamment à la fonderie pour la fabrication de pièces automobiles.

Le schéma suivant (AAC) illustre ce secteur :



La première fusion de l'aluminium est une source importante connue d'émissions de perfluorocarbures (PFC). Ces gaz fluorés se forment au cours d'un phénomène appelé « effet

d'anode », quand les niveaux d'alumine ne sont pas suffisants dans la cuve d'électrolyse. En cas d'effet d'anode, la tension de la cellule augmente très soudainement. L'anode en carbone est alors consommée par les sels fluorés du bain électrolytique, conduisant à l'émission de  $CF_4$  et  $C_2F_6$

### Caractéristiques de la catégorie (NIR et IIR)

L'aluminium primaire est obtenu par électrolyse de l'alumine dans un bain de cryolithe (contient du fluor) qui constitue la cathode, et des anodes en carbone. En fonction du type d'anode utilisé, il existe deux technologies de production de l'aluminium primaire : la méthode SØderberg et la méthode des anodes précuites. Le procédé SØderberg produit les anodes en continu, au sein même des cuves d'électrolyse. Ce procédé n'est plus utilisé en France, au profit du procédé des anodes précuites. Celles-ci sont fabriquées à l'extérieur de l'unité d'électrolyse. Pour la méthode de production avec les anodes précuites, deux types de technologies existent :

- la plus ancienne, dénommée SWPB (side-worked, ou piquage latéral) correspondant à une alimentation mécanisée sur les côtés de la cuve d'électrolyse,
- la plus récente, dénommée CWPB (centre-worked, ou piquage central) correspondant à une alimentation ponctuelle automatique au centre de la cuve.

La technologie CWPB est moins émettrice de PFC car elle limite les effets d'anode à l'origine des émissions, et permet la mise en place de système de captage et de traitement des rejets. L'effet d'anode se produit lorsque l'alumine vient à manquer dans le bain de cryolithe. En 1990, 39% de la production était réalisée par des sites CWPB (2 sites), contre 100% depuis 2008.

Depuis 2008, il ne reste plus que deux sites de production en France, contre 8 en 1991. Les faibles productions d'un centre de recherche à proximité d'un site sont déclarées séparément depuis 2014.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées au procédé sont induites par la réaction des anodes en carbone avec l'oxygène généré par l'électrolyse et une réaction secondaire avec l'air. Elles représentent environ 85 % des émissions totales de CO<sub>2</sub> sur un site de production d'aluminium primaire. Une petite partie des émissions de CO<sub>2</sub> provient de la production d'anodes, compte tenu de l'utilisation de coke de pétrole et de brai en tant que matières premières.

Ces émissions sont déterminées sur la base des informations fournies par les producteurs, site par site, dans le cadre du système d'engagement volontaire AERES de 1990 à 2004 [222, 742]. Ces données ont fait l'objet de vérifications externes. A partir de 2005, les données sont obtenues à partir des déclarations annuelles [19] ou communiquées par les exploitants [222].

L'évolution du facteur d'émission de CO<sub>2</sub> est notamment influencée par le nombre et l'intensité des effets d'anode, lorsque l'anode en carbone est consommée prématurément.

En cas de données manquantes, les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la consommation d'anodes précuites sont calculées à partir des Lignes directrices du GIEC sur la base des données transmises par les exploitants [1208].

### **Emissions de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O**

Il n'y a pas d'émission de CH<sub>4</sub> ou de N<sub>2</sub>O pour cette activité.

### **Emissions de Gaz fluorés**

#### SF<sub>6</sub>

En règle générale, le procédé n'est pas émetteur de SF<sub>6</sub> hormis au niveau des postes électriques dans lesquels ce gaz est utilisé en tant qu'isolant. Dans l'inventaire, ce poste est traité dans la section 2G et par conséquent n'est pas repris ici.

Pour mémoire, indépendamment des postes électriques, le SF<sub>6</sub> a été utilisé en très faible quantité en fonderie par un seul site pendant 3 années. Les émissions marginales afférentes, qui ne dépassent pas 4kg de SF<sub>6</sub> par an au maximum en 2010, ont été déclarées par l'exploitant [19]. Depuis 2012, l'exploitant indique ne plus consommer de SF<sub>6</sub> en fonderie [19].

#### PFC

Les seuls gaz fluorocarbonés émis sont des perfluorocarbures (PFC). La production d'aluminium par électrolyse entraîne des émissions de PFC par effet d'anode, lorsque l'alumine vient à manquer dans la cuve d'électrolyse. Les PFC impliqués sont le CF<sub>4</sub> et le C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>.

De 1990 à 2004, les émissions de CF<sub>4</sub> et de C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> sont communiquées par Rio Tinto Alcan dans le cadre du système d'engagement volontaire AERES [222, 742]. Ces données ont fait l'objet de vérifications externes. En 2005 et 2006, les données d'émission proviennent des déclarations annuelles des différents sites [19]. De 2007 à 2012, les données d'émission de CF<sub>4</sub> et de C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> proviennent de communications avec les exploitants [222]. A noter que pour un site fermé en 2008, les émissions de CF<sub>4</sub> et de C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> entre 2006 et 2008 sont estimées à partir des émissions globales de PFC déclarées et de la répartition CF<sub>4</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> de 2005.

Depuis 2013, la production d'aluminium primaire entre dans le champ du système d'échange de quotas d'émission [SEQE] de gaz à effet de serre de l'Union européenne, les émissions distinctes de CF<sub>4</sub> et C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 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

CO <sub>2</sub>	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 SEQE [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, mise à part les fermetures de sites depuis 1990. Pour les PFC, la méthodologie correspond à une approche bottom-up assimilée à un rang 3 puisque les émissions de PFC sont obtenues à partir de la méthode internationale de l'IAI (International Aluminium Institute) et du règlement UE n°601/2012. Pour information, les 2 principaux sites producteurs encore en activité utilisent la méthode des pentes. Pour le CO<sub>2</sub>, la méthodologie correspond à une approche bottom-up assimilée à un rang 3 puisque les émissions collectées sont déterminées à partir de la consommation d'anodes et d'analyses. Par ailleurs, depuis 2013 les exploitants appliquent le règlement UE n°601/2012 dont la méthode est basée sur les lignes directrices 2006 du GIEC.

Malgré le fait que la production, sur la période 1990-2002, provienne de données statistiques non détaillées par site, le facteur d'émission global de CO<sub>2</sub> 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.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

La teneur en soufre des anodes est variable et dépend de la provenance des matières premières utilisées pour leur production, telles que le coke de pétrole ou le brai. Le soufre est émis sous forme de SO<sub>2</sub> lors de la phase d'électrolyse (consommation des anodes). Le calcul du facteur d'émission annuel est basé sur les émissions de SO<sub>2</sub> dans les déclarations annuelles depuis 1994 [19] et sur la production. Le facteur d'émission de 1994 est appliqué aux années antérieures.

#### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

En ce qui concerne les émissions de NO<sub>x</sub>, la notation key « IE » est utilisée. Il est difficile de séparer les émissions de combustion des émissions de procédé, donc ces émissions sont incluses dans la catégorie 1A2b. La technologie utilisée dans les fonderies d'aluminium est celle des anodes précuites et les émissions de NO<sub>x</sub> proviennent principalement de la cuisson des anodes.

#### **Emissions de COVNM**

Les émissions de COVNM proviennent des déclarations TGAP à partir de 1995, puis des déclarations annuelles [19] à partir de 2003. Entre 2007 et 2010, pour les sites dont les données manquent, les émissions sont calculées à partir des mesures ponctuelles de

concentration fournies par les exploitants [222], des débits volumiques des effluents et des temps de fonctionnement des unités de production. Le facteur d'émission de 1995 est appliqué aux années antérieures.

Les déclarations des exploitants reposant sur des mesures ponctuelles des rejets de COVNM, donc les résultats d'émission peuvent être très fluctuants, selon la marche opérationnelle de l'installation au moment de la mesure.

### ***Emissions de CO***

Faute de données disponibles dans les déclarations annuelles, le facteur d'émission du CO provient du Guide EMEP/EEA [1079].

### ***Emissions de NH<sub>3</sub>***

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables.

### ***Emissions de poussières totales en suspension (TSP)***

La production d'aluminium de première fusion émet des particules, principalement des poussières d'alumine et de cryolithe. Les émissions de particules sont déterminées à partir de communications avec la profession pour les années 1990 à 1998 [222] et tirées des déclarations annuelles de rejets à partir de 2002 [19]. Les facteurs d'émission des années intermédiaires sont interpolés.

### ***Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>***

La granulométrie, qui correspond à un pourcentage des TSP, est issue du Guide EMEP/EEA 2019 [1079] et appliquée aux émissions de TSP. Faute de valeur disponible, le facteur d'émission pour les PM<sub>1,0</sub> est supposé identique à celui des PM<sub>2,5</sub>.

### ***Emissions de carbone suie / black carbon (BC)***

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1079] pour la production d'aluminium primaire.

### ***Métaux lourds (ML)***

La production d'aluminium de première fusion émet l'ensemble des métaux lourds inventoriés dans le SNIEBA. Ces composés sont présents à l'état de traces dans l'alumine et le fluorure d'aluminium et sont émis lors de la phase d'électrolyse.

La méthodologie d'estimation des émissions de métaux lourds est en partie basée sur des facteurs d'émission provenant de la littérature [70]. Les métaux lourds étant majoritairement présents sous forme particulaire, les facteurs d'émission varient dans le temps pour prendre en compte les efforts de réduction des émissions de particules.

### ***Dioxines et furanes (PCDD-F)***

Il est difficile de séparer les émissions de combustion des émissions de procédé, donc les émissions de PCDD-F sont incluses dans la catégorie 1A2b.

### ***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

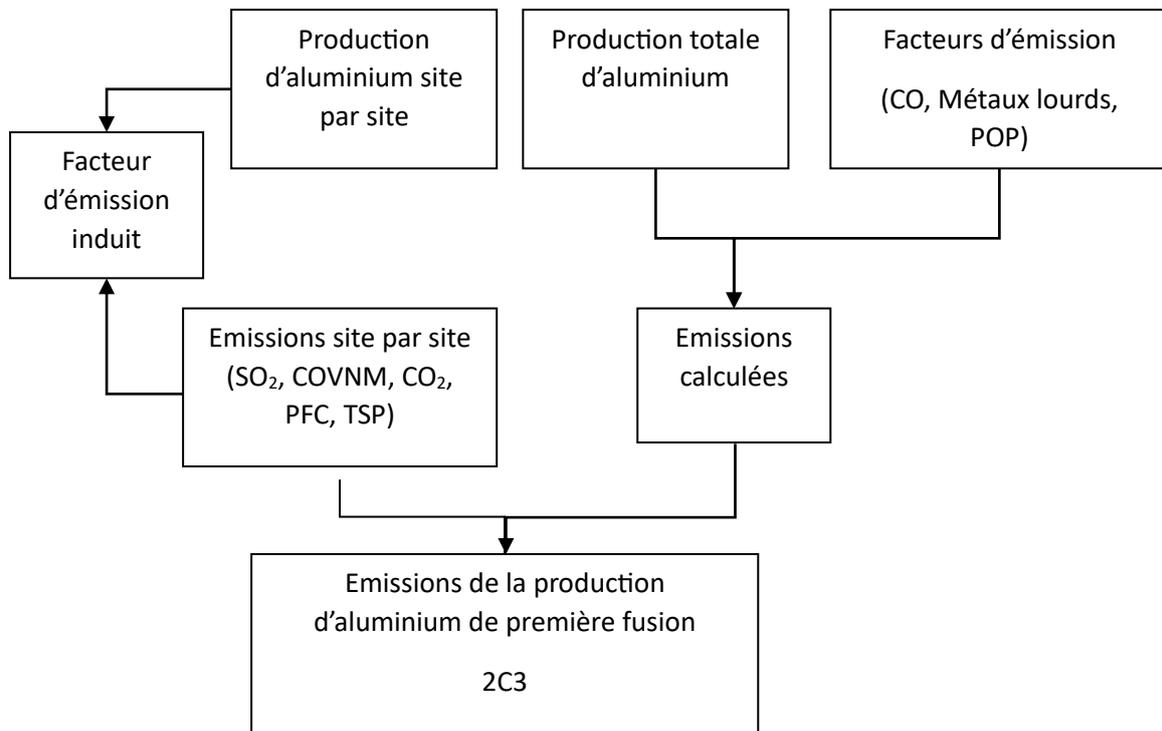
Les émissions sont déterminées pour cinq HAP (FluorA, BaA, BkF, BaP, BghiPE) dont les facteurs d'émission proviennent de l'étude AER [188]. Les émissions des HAP BbF et IndPy sont estimées grâce aux facteurs d'émission issus du Guidebook EMEP/EEA 2016 pour le niveau 2 (Tier 2) pour les anodes précuites [1079].

**Polychlorobiphényles (PCB)**

Il n'y a pas d'émission de PCB attendue pour cette activité.

**Hexachlorobenzène (HCB)**

Il est difficile de séparer les émissions de combustion des émissions de procédé, donc les émissions de HCB sont incluses dans la catégorie 1A2b. Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
17/02/2023	RK	17/02/2023	JV

## PRODUCTION DE MAGNESIUM

Les émissions de CO<sub>2</sub> et de SF<sub>6</sub> engendrées lors de la décarbonatation de dolomie pour produire le magnésium sont comptabilisées dans le CRF 2C7. Les émissions de HFC 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 d'énergie de l'industrie manufacturière dans le CRF 1A2b. Les émissions de CO de la production de magnésium ne sont pas estimées faute de données, de méthodes ou de facteurs d'émission pertinents pour ce secteur dans les lignes directrices EMEP/EEA 2019.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2C4
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension CITEPA)	040631
CE / directive IED	-
CE / E-PRTR	-
CE / directive GIC	-

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Inclus ailleurs (IE) : 2C7	

### Niveau de méthode :

- Références utilisées :
- Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR) :
- Méthode d'estimation des émissions de GES :

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
18/01/2023	MS	10/02/2023	JV

## PRODUCTION DE ZINC

Cette section concerne uniquement les émissions CO<sub>2</sub> liées aux procédés impliqués dans la production de zinc, première et seconde fusion. En effet, certains procédés sont émetteurs de CO<sub>2</sub> du fait de l'utilisation de carbonates et d'agents réducteurs, notamment pour la neutralisation d'acides divers.

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 d'énergie de l'industrie manufacturière

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2C6
CEE-NU / NFR	2C6
SNAPc (extension CITEPA)	040309
CE / directive IED	2.5
CE / E-PRTR	2 <sup>e</sup>
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production de zinc	Facteur d'émission recalculé à partir des émissions déclarées et par bilan matière

### Niveau de méthode :

Rangs 2 et 3.

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[714] Recytech - Communications annuelles

### Caractéristiques de la catégorie (NIR) :

Au cours de la production de zinc, première et seconde fusion, certains procédés sont émetteurs de CO<sub>2</sub> du fait de l'utilisation de carbonates et d'agents réducteurs, notamment pour la neutralisation d'acides divers. Des minerais concentrés de sulfure de zinc et des concentrés issus de l'industrie métallurgique riches en zinc sont également utilisés. Ils peuvent contenir des traces de carbone sous la forme graphite ou carbonate. Lors du grillage du minerai, la part carbone du minerai émet du CO<sub>2</sub>, soit par combustion du graphite, soit par décomposition du carbonate.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### Emissions de CO<sub>2</sub>

Très peu de sites en France sont concernés par les émissions de procédés liées à la production de zinc, première et seconde fusion.

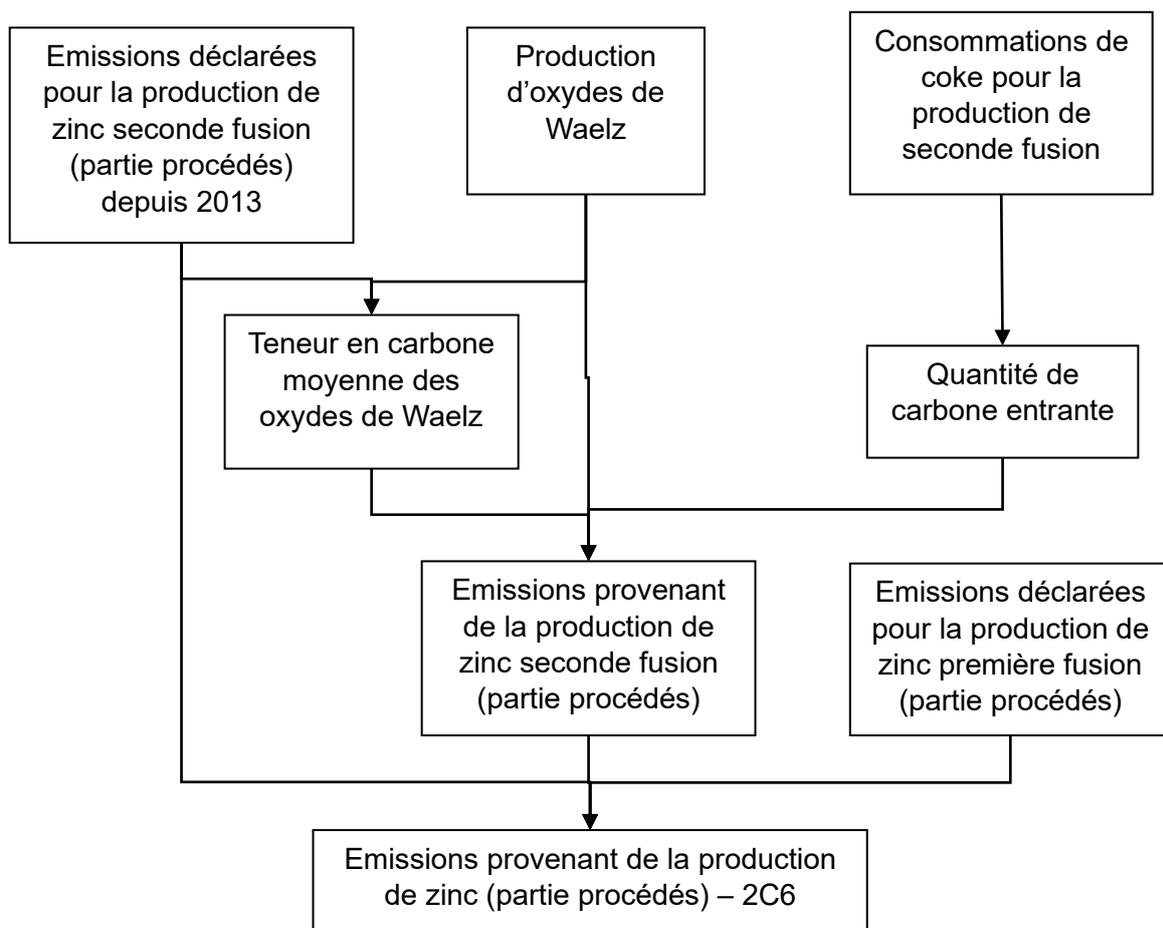
Les émissions de procédés de ces sites sont déterminées :

- 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 liées aux procédés relatifs à la production de zinc.

### Logigramme du processus d'estimation des émissions



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
08/02/2024	CJ	20/02/2024	JV

## BROYAGE DE BATTERIES

Cette section concerne les émissions de plomb liées au broyage de batteries.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2C7
CEE-NU / NFR	2C7
SNAPc (extension CITEPA)	040309
CE / directive IED	2.5
CE / E-PRTR	2e
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
-	Emissions déclarées par site

### Niveau de méthode :

Rang 3.

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[713] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016, Part B section 2C Lead production

[744] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016, Part B section 2C Aluminium production

[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

### Caractéristiques de la catégorie (IIR) :

Les sites concernés étaient tous, en premier lieu, des sites de production de plomb de deuxième fusion. Tous ont connu une réduction d'activité, abandonnant la production de plomb deuxième fusion mais conservant le broyage de batteries sur site. Les émissions de plomb et de poussières de ces sites ne sont pas liées à la combustion (cf. section générale énergie), mais bien au procédé concerné, ici le broyage de batteries.

En 2001, un seul site était concerné par le broyage de batteries uniquement. De 2002 à 2004, deux sites étaient concernés par cette activité, sites fermés l'année suivante. Depuis 2012, un nouveau site de production de plomb de deuxième fusion connaît une réduction

d'activité mais conserve ses activités de broyage de batteries uniquement. En 2020, ce dernier site français a cessé son activité de broyage de batterie.

#### Méthode générale d'estimation des émissions (IIR) :

Les émissions de plomb et de poussières de ces sites, liées au broyage de batteries, sont déterminées à partir des déclarations annuelles de rejets [19]. Pour des raisons de confidentialité, dues au faible nombre de sites impliqués dans le broyage de batteries, les facteurs d'émission associés ne peuvent être affichés.

#### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

##### ***Emissions de poussières totales en suspension (TSP)***

Les émissions de particules totales des sites concernés sont disponibles dans les déclarations annuelles des rejets [19]. Dans le cas où la donnée n'est pas disponible dans les déclarations annuelles, les émissions de poussières par site sont calculées à partir d'une corrélation avec l'évolution des émissions de plomb. Pour des raisons de confidentialité, dues au faible nombre de sites concernés, les facteurs d'émission de plomb associés ne peuvent être publiés.

##### ***Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>***

La granulométrie n'est pas indiquée dans les déclarations annuelles et il existe peu d'informations spécifiques au broyage de batteries dans la littérature. Les émissions de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont déterminées à partir des émissions de TSP et de ratios granulométriques calculés à partir de la section 2C, du Guidebook EMEP/EEA 2019, relative à la production du plomb [1078]. Faute de valeur disponible, le facteur d'émission pour les PM<sub>1,0</sub> est supposé identique à celui des PM<sub>2,5</sub>.

##### ***Emissions de carbone suie / black carbon (BC)***

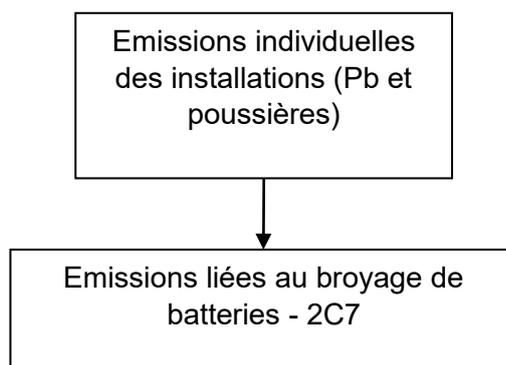
Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>, ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1079]. La valeur retenue est la même que celle utilisée dans la section relative à la production de plomb primaire et secondaire.

##### ***Métaux lourds (ML)***

Seul le plomb est émis en quantité significative sous forme particulaire par le procédé de broyage de batteries.

Les émissions de plomb des sites concernés sont disponibles dans les déclarations annuelles des rejets [19]. Pour des raisons de confidentialité, dues au faible nombre de sites concernés, les facteurs d'émission de plomb associés ne peuvent être affichés.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
27/12/2022	EF	29/01/2023	JV

## DECARBONATATION DANS LES FONDERIES DE FONTE

Ce paragraphe permet d'introduire la méthode de calcul des différentes sources émettrices de CO<sub>2</sub> en termes de décarbonatation dans les fonderies de fonte.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2C7
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension CITEPA)	040631
CE / directive IED	3.4 / 1.1 (partiel)
CE / E-PRTR	3f / 1c (partiel)
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up intégral (toutes les installations sont considérées individuellement)	Spécifiques de chaque installation considérée individuellement

### Niveau de méthode :

A partir de 2013 : rang GIEC 3. Avant 2013 : rang GIEC 2.

### Références utilisées :

[19] DRIRE/DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[763] GIEC - Guidelines 2006, Volume 3, Chapitre 2, Mineral industry - Table 2.1

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Quatre sites de fonderie de fonte déclarent des émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'utilisation de produits carbonés : castine, chaux, carbure de silicium, etc., qui servent de fondants.

### Méthode d'estimation des émissions de GES :

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 dans le temps sauf pour un site pour lequel on dispose de ces données sur la période 2005-2012 (communication directe du site).

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

#### Méthode mise en œuvre

Il convient de distinguer trois périodes :

A partir de 2020, les émissions de CO<sub>2</sub> proviennent directement des déclarations annuelles [19] pour les quatre sites recensés.

Entre 2013 et 2019 inclus : pour trois sites, les émissions de CO<sub>2</sub> proviennent directement des déclarations annuelles [19] et pour le dernier site, les émissions sont calculées à partir de la consommation de matières carbonées et des facteurs d'émission par défaut des matières carbonées présentées ci-après.

Avant 2013 : pour trois sites, les émissions de CO<sub>2</sub> de l'année 2013 sont reportées sur la période 1990-2012 et pour un site, les émissions sont estimées à partir des consommations de matières carbonées et des facteurs d'émission par défaut.

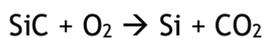
### Facteurs d'émission CO<sub>2</sub>

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.

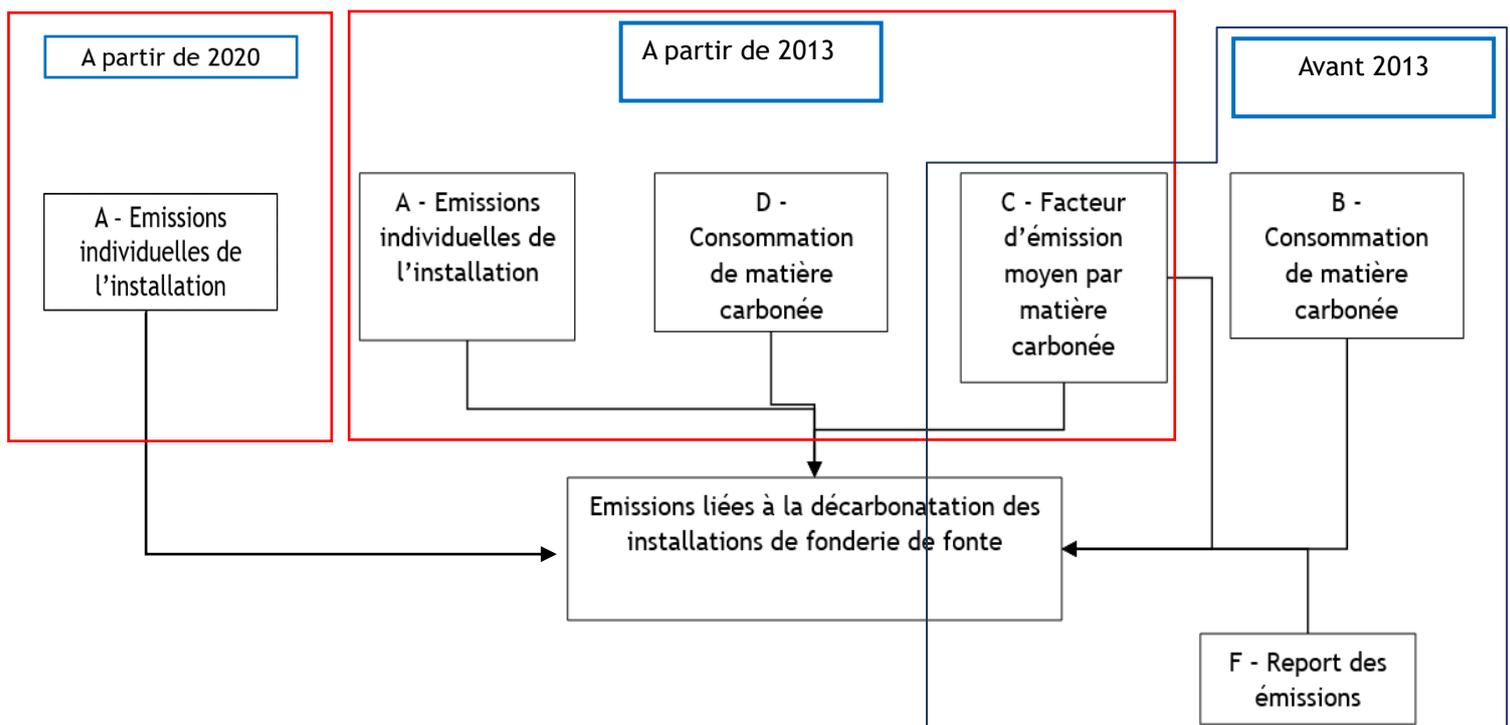


La teneur en carbone dans le composé SiC est de 0,3 (12 / (12+28,09)) et donc le facteur d'émission est de 1 097 kg/t.

Pour le carbure de calcium, une valeur de 1 100 kg/t est retenue par le Citepa dans l'inventaire.

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.

Logigramme du processus d'estimation des émissions - Fonderie de fonte



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
05/02/2024	RK	14/02/2024	JV

## PRODUCTION DE MAGNESIUM

Cette section s'intéresse aux émissions de SF<sub>6</sub> ainsi qu'aux émissions de CO<sub>2</sub> engendrées lors de la décarbonatation de dolomie pour produire le magnésium. 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 d'énergie de l'industrie manufacturière dans le CRF 1A2b.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2C7
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension CITEPA)	030323 et 040631
CE / directive IED	2.5 (pour partie)
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Volumes de production	Valeurs nationales annuelles (gaz fluorés) Valeur par défaut (décarbonatation)

### Niveau de méthode :

SF<sub>6</sub> et HFC : Rang 2

CO<sub>2</sub> : Rang 3

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [50] Données communiquées directement par les exploitants au CITEPA
- [222] Données internes à Rio Tinto Alcan
- [223] Société de l'industrie minérale - Annuaire Statistique Mondial de Minerais et Métaux
- [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

### Caractéristiques de la catégorie (NIR) :

a/ Première fusion

Voir descriptif en section 1A2b relative à la combustion d'énergie.

Le SF<sub>6</sub> était utilisé comme gaz inertant pour la production de magnésium notamment, en raison de la complexité du procédé. Un seul site de production de magnésium de première fusion a fonctionné jusqu'en 2002 et a transmis ses consommations de SF<sub>6</sub> [222]. Il y avait donc des émissions de SF<sub>6</sub> dues à des fuites lors de la production [222].

Le procédé de fabrication utilise la dolomie (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) comme matière première ce qui engendre des émissions de CO<sub>2</sub> sous l'effet de la chaleur (décarbonatation).

L'activité retenue correspond à la quantité de dolomie consommée par l'unique site producteur jusqu'en 2002. Ces données sont confidentielles.

#### b/ Seconde fusion

Outre le site précédemment évoqué après transformation, il existe également d'autres sites de production de magnésium de seconde fusion qui utilisent aussi le SF<sub>6</sub> comme gaz inertant. Depuis 2009, du HFC-134a est utilisé sur un site en complément et substitution du SF<sub>6</sub>. Conformément au règlement n° 517/2014 du 16/04/2004 relatif au gaz à effet de serre fluorés, le SF<sub>6</sub> pour le moulage sous pression du magnésium et le recyclage des alliages de magnésium moulés sous pression a été interdit à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2018.

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

##### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Un seul site de production de magnésium existe en France. Il a fermé en 2002.

Ce site utilise la dolomie (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) comme matière première qui va engendrer des émissions de CO<sub>2</sub> sous l'effet de la chaleur (décarbonatation).

De 1990 à 2002, la production de magnésium de première fusion de l'unique site est connue [223]. Les lignes directrices du GIEC 2006 [528] fournissent le facteur d'émission de CO<sub>2</sub> lié à la décarbonatation par tonne de magnésium produit. Les émissions de CO<sub>2</sub> induites par l'utilisation de dolomie résultent du produit de ces deux paramètres.

Le facteur d'émission de CO<sub>2</sub> relatif à l'utilisation de dolomie est disponible dans la littérature [529]. La consommation de dolomie est déterminée à partir de ce facteur d'émission et des émissions calculées précédemment.

##### **Emissions de Gaz fluorés**

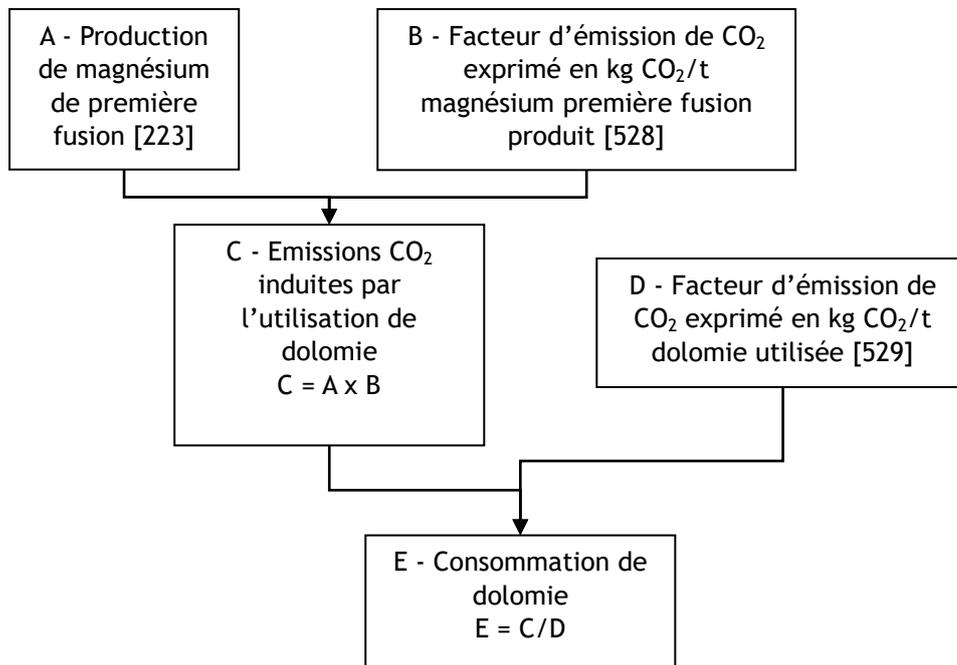
###### SF<sub>6</sub>

La totalité du SF<sub>6</sub> 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.

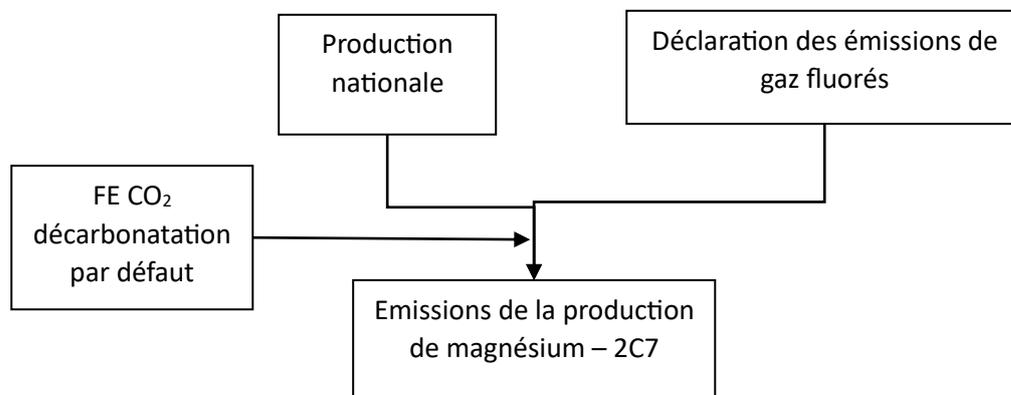
###### HFC

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.

## Logigramme de la consommation de dolomie.



## Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
08/02/2024	CJ	14/02/2024	JV

## PRODUCTION DE NICKEL

L'activité concernée dans cette section est la production de nickel hors procédé thermique.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2C7
CEE-NU / NFR	2C7b
SNAPc (extension CITPEA)	040305
CE / directive IED	2.5
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Volumes de production	Valeurs nationales annuelles

### Niveau de méthode :

Rang 2.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [49] TNO - Etude CEPMEIP relative aux émissions de particules, 2001
- [947] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016 - Section 2.C.7.b Nickel production - Table 3.1
- [1088] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019 - Part B section 2C7b Nickel production - Table 3.1
- [1227] Rapport annuel de l'institut d'émission d'outre-mer (IEOM) - Nouvelle-Calédonie

### Caractéristiques de la catégorie :

La production de nickel se fait à partir de deux types de minerais :

1/ les minerais contenant du nickel oxydé (formés par la modification chimique de roches de surface sous climat tropical). Les minerais contiennent 1,8% de nickel. Seuls les minerais latéritiques silicates (notamment la garniérite de Nouvelle-Calédonie, teneur moyenne 2,8%) ont été jusqu'ici exploités.

2/ les minerais contenant du nickel sulfuré (extrait en profondeur, alliés à des minerais annexes, teneur élevée).

### Métropole

En France métropolitaine, il y a un seul site de production qui élabore du nickel de haute pureté. Le procédé est décrit ci-dessous :

### 1. Attaque de la matte

La matte est d'abord broyée finement, puis attaquée par une solution de chlorure ferrique en présence de chlore dans un ensemble de réacteurs. Le nickel, le cobalt et le fer sont transformés en chlorures, tandis que le soufre reste à l'état élémentaire.

La solution de chlorures de nickel, cobalt et fer est séparée du soufre et des résidus insolubles grâce à un filtre et subit alors des étapes successives d'extraction et de purification.

### 2. Extraction et purification

- Extraction du fer

L'extraction du fer est obtenue grâce à l'utilisation d'un solvant organique sélectif mis en contact avec la solution dans une batterie d'appareils mélangeurs-décanteurs fonctionnant à contre-courant.

- Extraction du cobalt

Pour extraire le cobalt de la solution de chlorures de nickel et de cobalt maintenant débarrassée du fer, le même principe que précédemment est appliqué dans une autre série de mélangeurs-décanteurs à l'aide d'un solvant différent. Une solution de chlorure de cobalt pure et une solution de nickel ne contenant plus de cobalt sont obtenues.

### 3. Electrolyse

La solution purifiée de chlorure de nickel est envoyée dans une série de cuves d'électrolyse. Celles-ci comportent des anodes insolubles régénérant le chlore ; le nickel métal se dépose à la cathode, sur des feuilles-mères en nickel.

Une cathode épaisse de nickel pur à très basse teneur en cobalt et avec des niveaux d'impuretés extrêmement faibles est obtenue.

Pour les besoins spécifiques de certaines industries (nucléaire, aérospatiale, etc.), les cathodes subissent un recuit éliminant totalement l'hydrogène.

### 4. Découpage des cathodes et conditionnement

Avant leur expédition, les cathodes de nickel sont découpées par cisailage pour obtenir des éléments, adaptés aux besoins des industries utilisatrices puis conditionnées.

## Outre-mer

Il existe depuis 2012 un site de production en Outre-Mer, l'usine de Prony Ressources New Caledonia (repreneur de Vale Inco à partir de 2021) en Nouvelle - Calédonie, qui produit de l'oxyde de nickel « NiO » à partir de minerai latéritique par lixiviation haute pression et température (procédé HPAL). Ses émissions sont estimées à partir de la production et de données locales confidentielles Les émissions de CO<sub>2</sub> sont rapportées dans la section 2C2\_ferro alloys.

Courant 2020, l'industriel a réorienté sa stratégie vers le marché des batteries automobiles et a arrêté la production de sa raffinerie en NiO.

### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

La production métropolitaine est connue via la déclaration annuelle du site producteur [19]. Au cours du procédé, du nickel, des COVNM et des particules sont émis. La production de l'Outre-mer est connue via le rapport annuel IEOM de la Nouvelle Calédonie [1227].

#### ***Emissions de COVNM***

Le facteur d'émission des COVNM en métropole est calculé sur la base de la déclaration de rejets annuels [19]. Les données détaillées ne sont pas communiquées pour cause de confidentialité.

Les émissions du site situé en Nouvelle-Calédonie sont estimées à partir de sa production et de données locales confidentielles qui permettent de calculer un facteur d'émission spécifique.

#### ***Emissions de poussières totales en suspension (TSP)***

De 1990 à 2002, les émissions de particules pour la métropole sont calculées sur la base d'un facteur d'émission moyen issu de la littérature [49]. A partir de 2003, les facteurs d'émission sont basés sur les déclarations annuelles de rejets [19].

Compte tenu du nombre limité de producteurs, les données détaillées sont confidentielles.

Les émissions du site situé en Nouvelle-Calédonie sont estimées à partir de sa production et de données locales confidentielles qui permettent de calculer un facteur d'émission fixe.

#### ***Emissions de PM10, PM2,5, PM1,0***

La granulométrie appliquée pour la métropole et l'outre-mer est issue de la même source que le facteur d'émission des TSP [49]. Faute de valeur disponible, le facteur d'émission pour les PM<sub>1,0</sub> est supposé identique à celui des PM<sub>2,5</sub>.

#### ***Emissions de carbone suie / black carbon (BC)***

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio est estimé négligeable pour la production de nickel car non estimé dans le Guidebook EMEP/EEA [1088].

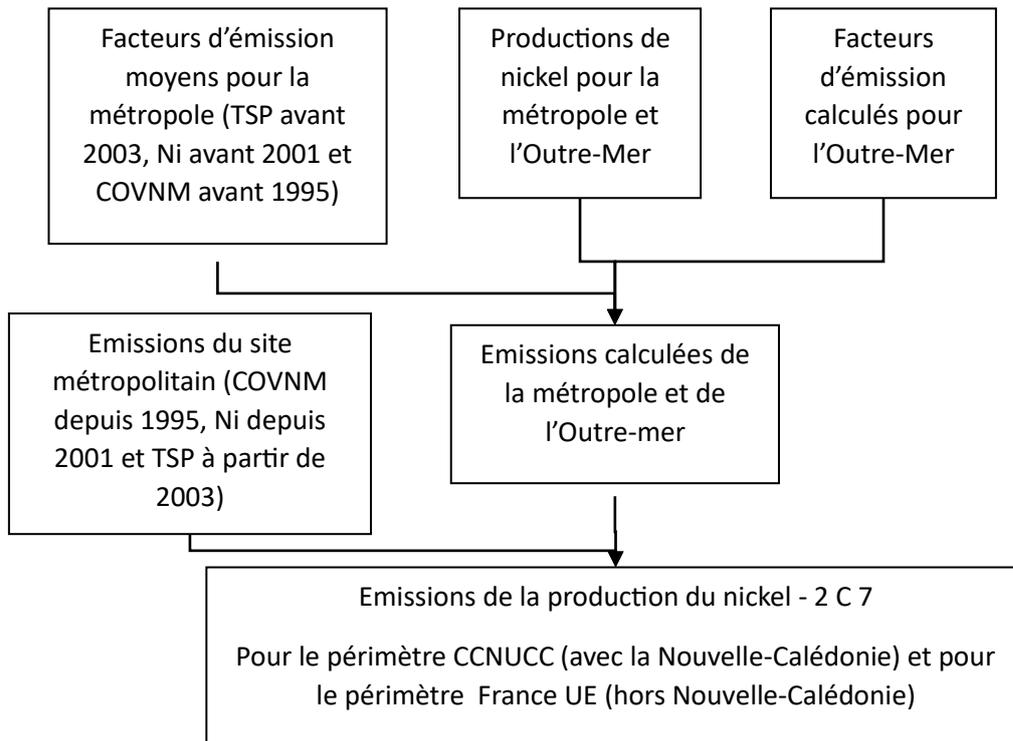
#### ***Métaux lourds (ML)***

La production de nickel émet du nickel. Depuis 2001, le facteur d'émission pour la métropole est calculé sur la base des émissions figurant dans les déclarations annuelles [19]. Pour les années antérieures à 2001, faute de données disponibles, le facteur d'émission par défaut proposé par le Guidebook EMEP/EEA [1088] est appliqué.

Compte tenu du nombre limité de sites, le détail des données est confidentiel.

Les émissions de nickel du site situé en Nouvelle-Calédonie sont estimées à partir de sa production et de données locales confidentielles qui permettent de calculer un facteur d'émission spécifique.

## Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Autres usages et productions (Solvants, gaz fluorés, etc.)

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
01/02/2023	CV	10/02/2023	JV

## UTILISATION DE LUBRIFIANTS

Cette section couvre les émissions de CO<sub>2</sub> 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 de transport (routier, engins de l'agriculture, maritime, plaisance et petits engins du résidentiel/tertiaire).

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.D.1 (partiellement)
CEE-NU / NFR	2.G
SNAPc (extension CITEPA)	060604 (partiel)
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Consommation totale nationale de lubrifiants	Facteur d'émission par défaut

### Niveau de méthode :

Rang 1.

### Références utilisées :

[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

[653] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 3, Chapitre 5, section 5.2.2.2

### Méthode générale d'estimation des émissions :

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 et on a donc une consommation non énergétique.

La quantité totale de lubrifiants utilisés en France est obtenue à partir du bilan de l'énergie produit annuellement par le SDES [25].

Les quantités consommées par les moteurs 2 temps et 4 temps sont soustraites de la quantité nationale pour obtenir la quantité de lubrifiants destinés aux usages non énergétiques.

Les quantités de lubrifiants liées aux moteurs 4 temps du transport routier sont estimées à partir du modèle COPERT.

#### Méthode d'estimation des émissions de GES :

##### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Le facteur d'émission de CO<sub>2</sub> utilisé pour les lubrifiants 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 CO<sub>2</sub> : 44 g/mol

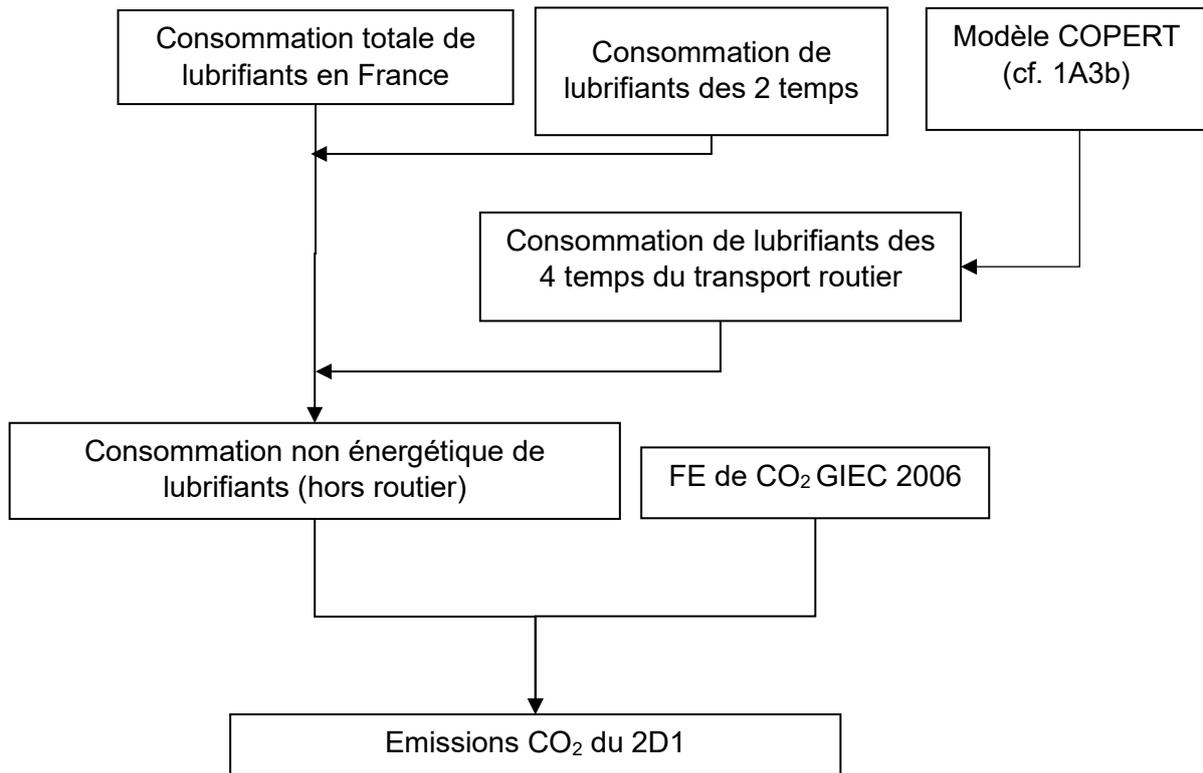
masse molaire C : 12 g/mol

Le facteur d'émission utilisé est donc de 14,7 kg CO<sub>2</sub>/GJ, et il est converti en kg CO<sub>2</sub>/t de produit à partir du PCI moyen des lubrifiants.

#### Méthode d'estimation des émissions de polluants :

Les méthodes d'estimation des émissions de polluants sont détaillées dans la partie 1A3b relative au transport routier.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
06/02/2018	DB	06/02/2018	JV

## UTILISATION DE PARAFFINES ET CIRES

Cette section couvre les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'utilisation non énergétique de paraffines et de cires.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.D.2
CEE-NU / NFR	2.G
SNAPc (extension CITEPA)	060604 (partiel)
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Consommation totale nationale de paraffines et de cires	Facteur d'émission par défaut

### Niveau de méthode :

Rang 1.

### Références utilisées :

[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

[654] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 3, Chapitre 5, section 5.3.2.2

### Méthode générale d'estimation des émissions (NIR) :

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 produit annuellement par le SOeS [25].

Le facteur d'émission de CO<sub>2</sub> utilisé provient des lignes directrices du GIEC de 2006 [654].

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Le facteur d'émission de CO<sub>2</sub> utilisé 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)

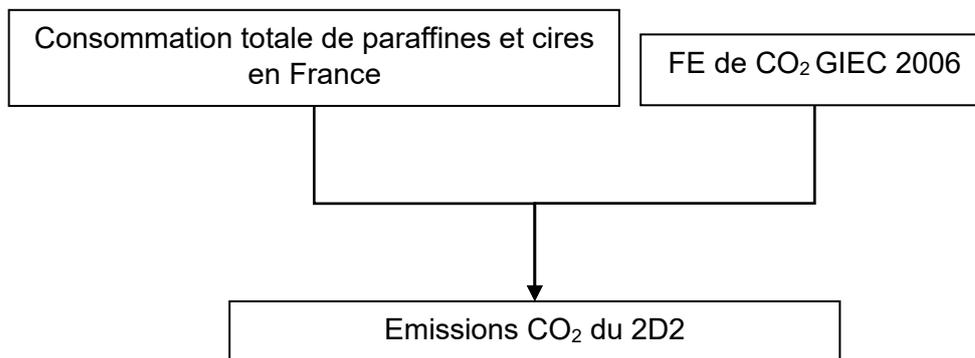
ODU lubricant : taux d'oxydation pendant l'utilisation (valeur GIEC par défaut = 20%)

masse molaire CO<sub>2</sub> : 44 g/mol

masse molaire C : 12 g/mol

Le facteur d'émission utilisé est donc de 14,7 kg CO<sub>2</sub>/GJ, et il est converti en kg CO<sub>2</sub>/t de produit à partir du PCI de la paraffine.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
27/12/2022	RB/JMA/CG/EF	29/01/2023	JV

## UTILISATION D'UREE

Ce paragraphe décrit les émissions de CO<sub>2</sub> dans les différentes sources d'utilisation d'urée.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2D3.4 (partiel)
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension CITEPA)	040631 pour les DéNOx dans les centrales thermiques 070101, 070102, 070103, 070201, 070202, 070203, 070301, 070302 et 070303 pour le transport routier 010106 et 090201 pour les usines d'incinération de déchets non dangereux 040408 pour les autres usages
CE / directive IED	5.2 (partiellement)
CE / E-PRTR	5b (partiellement)
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
DéNOx dans les centrales thermiques : bottom-up intégral (toutes les installations sont considérées individuellement)	Généralement spécifiques de chaque installation considérée individuellement pour les DéNOx dans les centrales thermiques
Transport routier : bottom-up à partir de la consommation de carburant des véhicules considérés ou du trafic effectué.	Pourcentage de la consommation d'urée pour le transport routier
UIDND : bottom-up intégral (toutes les installations sont considérées individuellement)	Bilan massique pour les usines d'incinération de déchets non dangereux
Autres usages : bilan entre la quantité totale utilisée et les quantités utilisées par les secteurs connus	Facteur d'émission par défaut pour les autres usages

### Niveau de méthode :

Rang GIEC 1 ou 3 selon le secteur

### Références utilisées :

[19] DRIRE/DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[643] Commission Européenne - BREF Incinération des déchets p406 et 412 - Août 2006

[644] Direction générale des douanes - importation et exportation d'urée

[730] R. Sonan Occho. CCCFA. adblue® pour véhicules légers diesel (véhicules particuliers, véhicules utilitaires légers). Réunion UIP/CCFA - Octobre 2014

[999] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Update July 2018 - 1.A.3.b.i-iv Road transport

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Cette section concerne les émissions de CO<sub>2</sub> induites par l'utilisation d'urée au sein de plusieurs applications :

- Utilisation d'urée par les systèmes de traitement des NO<sub>x</sub> (déNO<sub>x</sub>) de type SCR (Réduction sélective catalytique) par certaines centrales thermiques,
- Utilisation d'urée par les systèmes de traitement des NO<sub>x</sub> de type SCR par les véhicules routiers,
- Utilisation d'urée par les systèmes de traitement des NO<sub>x</sub> 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.

La partie relative aux émissions provenant de l'utilisation d'urée dans le secteur agricole est également traitée dans une section spécifique.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

##### A. Utilisation d'urée par les centrales thermiques

Certaines centrales thermiques utilisent de l'urée via leur système de traitement des NO<sub>x</sub> (déNO<sub>x</sub>) de type SCR (Réduction sélective catalytique). En 2021, quatre sites sont concernés en France métropolitaine et un seul en Outre-mer. Sur les années 2010 à 2012, une seule centrale thermique en France métropolitaine consommait de l'urée et quatre en Outre-mer.

Les données de consommation d'urée et les émissions de CO<sub>2</sub> associées sont connues, pour les centrales thermiques qui en consomment, via leur déclaration annuelle de polluants [19] dans le cadre du SEQE.

Compte tenu du nombre limité de sites, le facteur d'émission ne peut pas être communiqué dans la base de données OMINEA.

##### B. Utilisation d'urée par les véhicules routier

Les systèmes de post-traitement utilisés pour réduire les émissions de NO<sub>x</sub> dans le transport routier utilisent une solution aqueuse d'urée en tant qu'agent réducteur. Ils sont utilisés sur les véhicules lourds (y compris bus et cars) à partir de la norme Euro V ainsi que sur les véhicules légers à partir de la norme Euro 6. L'urée a un type chimique de (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>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/cm<sup>3</sup>.

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 CO<sub>2</sub>/t urée [999] est alors utilisé.

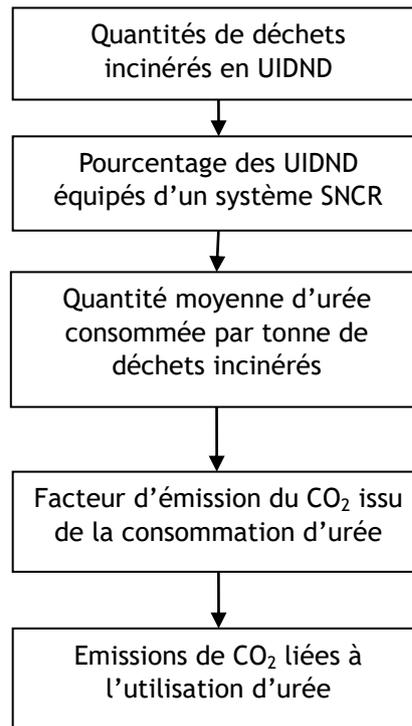
### C. Utilisation d'urée par les usines d'incinération de déchets non dangereux

Plus de 90% des UIDND sont équipées d'un système d'abattement des NOx. Ils sont essentiellement de type SNCR et SCR. Ces systèmes utilisent soit de l'urée, soit de l'ammoniac (le plus souvent sous forme dissoute) soit de l'acide cyanhydrique. Cependant, faute d'information, on suppose que la totalité de ces systèmes utilise de l'urée (hypothèse majorante pour les émissions de CO<sub>2</sub>).

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/Mg) [643].

Les facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> exprimés en kg CO<sub>2</sub>/t urée sont disponibles dans la base de données OMINEA (déterminé par bilan massique).

Logigramme du processus d'estimation des émissions



#### D. Autres utilisations de l'urée

L'urée est également consommée pour d'autres usages, notamment au niveau industriel. En effet, l'urée est employée pour l'élaboration de matériaux plastiques thermodurcissables (résines urée-formol, etc.), d'adhésifs contenant méthanal et mélamine, etc.

La consommation d'urée pour les autres usages est calculée à partir de l'équation suivante :

Consommation urée autres usages = Production (cf. section spécifique) + Importation [644] - Exportation [644] - Consommation des autres secteurs connus (utilisation d'urée par centrales thermiques, par les véhicules routiers, par les usines d'incinération de déchets non dangereux et par l'agriculture).

Les facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> exprimés en kg CO<sub>2</sub>/t urée sont disponibles dans la base de données OMINEA (déterminé par bilan massique).

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Il n'est pas attendu d'émission de CH<sub>4</sub> pour ce secteur.

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Il n'est pas attendu d'émission de N<sub>2</sub>O pour ce secteur.

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'est pas attendu d'émission de gaz fluorés pour ce secteur.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
05/02/2024	RK	14/02/2024	JV

## RECouvreMENT DES ROUTES PAR L'ASPHALTE

Cette section concerne les émissions de COVNM, de HAP et de dioxines/furanes engendrées par le dépôt de bitume sur les routes.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.D.3.2
CEE-NU / NFR	2.D.3.b
SNAPc (extension CITEPA)	040611
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Consommation nationale de bitume routier	Valeurs nationales ou par défaut selon les polluants

### Niveau de méthode :

Rang 2.

### Références utilisées :

[70] Citepa - BOUSCAREN R. - Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et de composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996

[184] Routes de France, anciennement USIRF (Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française) - Consommation annuelle de bitume routier. Communication en 2006

[188] AER - Facteurs d'émission pour certains polluants organiques persistants : PCP, HAP, HCB et PCP, octobre 2004 (rapport pour Citepa, non publié)

[715] Routes de France, anciennement USIRF (Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française) - Les produits de l'industrie routière. Publication annuelle

[1207] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2D3b Road paving with asphalt - Table 3.1

### Caractéristiques de la catégorie (IIR) :

Le recouvrement des routes peut se faire au moyen de deux matériaux : d'une part, l'asphalte (utilisé comme liant) et, d'autre part, les gravillons. Suivant que le recouvrement s'effectue avec ou sans gravillons, les quantités d'asphalte utilisées seront différentes.

Le dépôt de bitume sur les routes engendre des émissions de COVNM, de HAP et de dioxines/furanes. Aucune émission directe de gaz à effet de serre n'est induite. Les émissions de poussières sont déjà comptabilisées dans la section 1A2g relative à la production d'enrobés.

#### **Méthode générale d'estimation des émissions (IIR) :**

Les émissions sont déterminées à partir de la consommation annuelle de bitume et des quantités d'enrobés fournies par la profession par communication avant 2005[184] et dans une publication annuelle pour les années 2005 et suivantes [715].

La consommation de bitume représente environ 7% de la production d'enrobé.

#### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

##### ***Emissions de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO***

Aucune émission de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ou CO n'est induite par le recouvrement des routes par le bitume.

##### ***Emissions de COVNM***

Les émissions de COVNM sont déterminées au moyen d'un facteur d'émission provenant du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1207].

##### ***Emissions de poussières totales en suspension (TSP)***

Les émissions de particules totales sont incluses dans la section 1A2g relative à la production d'enrobés. Il n'y a pas d'émissions directes de TSP relatives au recouvrement des routes par le bitume.

##### ***Dioxines et furanes (PCDD-F)***

Les émissions de dioxines/furanes sont déterminées à partir d'un facteur d'émission constant [70].

##### ***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

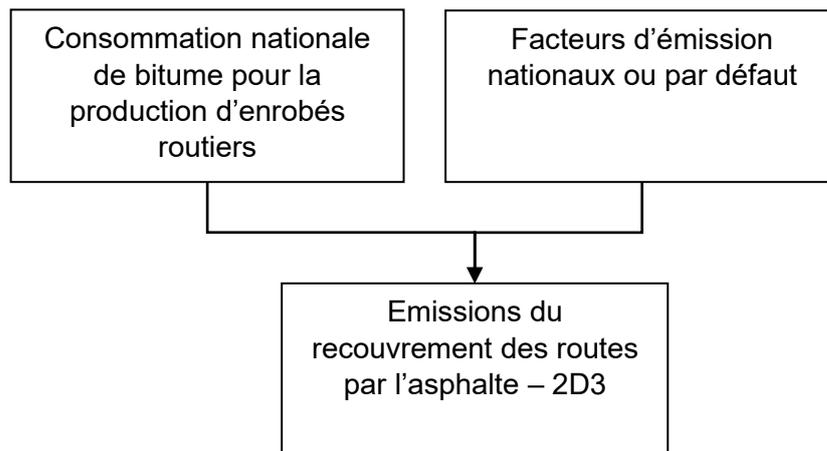
Au sens de la CEE-NU, les HAP regroupent les quatre substances suivantes : benzo(a)pyrène (BaP), benzo(b)fluoranthène (BbF), benzo(k)fluoranthène (BkF) et indéno(123-cd)pyrène (IndPy).

Les émissions de HAP pour chacune des espèces sont déterminées à partir de facteurs d'émission, spécifiques à chaque composé, issus d'une étude de l'AER [188].

##### ***Polychlorobiphényles (PCB) et Hexachlorobenzène (HCB)***

Aucune émission de PCB ou HCB n'est induite par le dépôt de bitume sur les routes.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
24/01/2023	RK	29/01/2023	JV

## MATERIAUX ASPHALTES POUR TOITURE

Cette section concerne les émissions de COVNM, CO et particules engendrées par la fabrication et la pose de matériaux asphaltés pour toiture.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.D.3.3
CEE-NU / NFR	2.D.3.c
SNAPc (extension CITEPA)	040610
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production de matériaux asphaltés pour toiture	Valeurs par défaut

### Niveau de méthode :

Rang 1.

### Références utilisées :

[184] Routes de France, anciennement USIRF (Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française) - Consommation annuelle de bitume routier. Communication en 2006

[715] Routes de France, anciennement USIRF (Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française) - Les produits de l'industrie routière. Publication annuelle

[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>

[1089] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019 - Part B section 2D3c Asphalt roofing

### Caractéristiques de la catégorie (IIR) :

La fabrication et la pose de bardeaux et autres matériaux asphaltés engendre des émissions de COVNM, de CO et de poussières.

### Méthode générale d'estimation des émissions (IIR) :

Les émissions sont estimées à partir du volume de production de matériaux asphaltés, déterminé à partir de la consommation de bitume et d'une teneur moyenne en bitume de 35% dans les bardeaux d'asphaltes [728]. La consommation de bitume pour les matériaux de

toiture provient de statistiques européennes [727] à partir de 2008. Avant 2008, cette valeur est recalculée à partir des consommations de bitume dans l'industrie routière données fournies par la profession [184] [715] et du ratio de consommation de bitume entre les matériaux de toiture et les enrobés routiers sur la période 2008-2015.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de CO**

Les émissions de CO sont déterminées au moyen d'un facteur d'émission provenant du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1089].

#### **Emissions de COVNM**

Les émissions de COVNM sont déterminées au moyen d'un facteur d'émission provenant du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1089].

#### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Les émissions de TSP sont déterminées au moyen d'un facteur d'émission provenant du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1089].

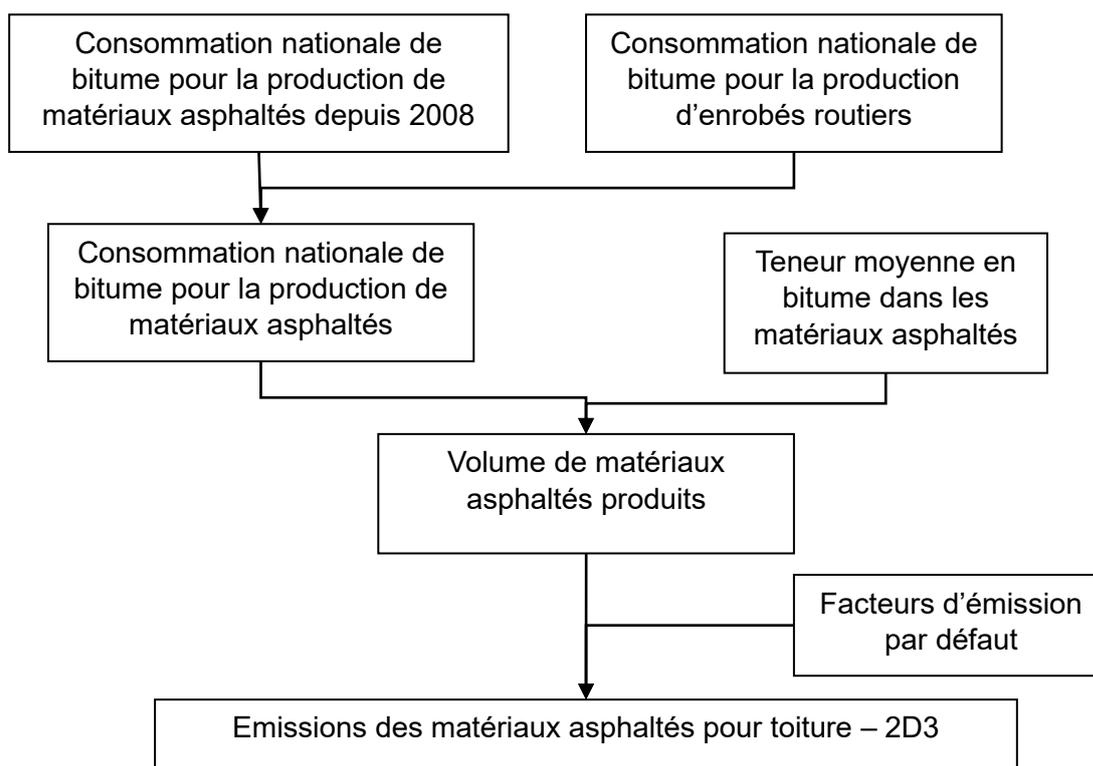
#### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Les émissions de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont déterminées au moyen d'un facteur d'émission provenant du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1089]. Les émissions de PM<sub>1,0</sub> sont calculées à partir d'un facteur d'émission supposé similaire à celui des PM<sub>2,5</sub>.

#### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>, ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1089].

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
22/02/2024	TB	22/02/2024	JV/JPC

## 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.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.D.3.1
CEE-NU / NFR	2.D.3.g
SNAPc (extension CITEPA)	060301 à 060314 hors 060310
CE / directive IED	Partiellement 4.1h à k, 4.5, 6.2 et 6.3
CE / E-PRTR	4aviii à xi, 4e, 9a et b
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Traitement des statistiques de consommation au niveau national ou bottom-up suivant les secteurs	Spécifiques aux secteurs. Valeurs nationales ou spécifiques à chaque installation si elles sont disponibles

### Niveau de méthode :

Rang 1 à 3 suivant les secteurs : utilisation de valeurs par défaut ou prise en compte des déclarations de toutes les installations françaises suivant le secteur considéré.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [53] SESSI - Bulletin mensuel de statistique industrielle
- [111] FIPEC - Données statistiques sur les consommations de peinture, encres, etc.
- [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

- [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
- [329] CITEPA - Données internes résultant des divers audits (diagnostics et pré diagnostics) réalisés par le CITEPA
- [351] SESSI - Résultats annuels des enquêtes de branche
- [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
- [749] INSEE - Statistiques ProdFRA
- [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
- [974] DSECE - Données d'importation et d'exportation - [https://lekiosque.finances.gouv.fr/portail\\_default.asp](https://lekiosque.finances.gouv.fr/portail_default.asp)

#### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Des solvants ou des COVNM ayant certaines caractéristiques physico-chimiques (pentane comme agent d'expansion dans le polystyrène, styrène comme agent réactif de réticulation dans la transformation du polyester) sont utilisés lors de la production de chacun des produits considérés dans cette section.

En ce qui concerne la mise en œuvre de produits chimiques, la production ou la mise en œuvre de polyester, de PVC, de polyuréthane, de mousse de polystyrène, les activités (quantités de produits consommées) proviennent des déclarations annuelles des industriels et des statistiques nationales de production, de consommation, d'import et d'export [19, 53, 115, 351, 686, 749, 974].

Pour la fabrication d'encres, peintures et colles, la même méthodologie est utilisée. Les données d'activité proviennent des statistiques nationales [111, 351, 974].

En ce qui concerne les productions de pneumatiques et la mise en œuvre de caoutchouc, les activités sont disponibles auprès de la profession [116].

Les consommations de solvants utilisés dans la fabrication de produits pharmaceutiques proviennent d'une enquête auprès des professionnels du secteur [117] et des déclarations annuelles des rejets des industriels [19].

La consommation de solvants utilisés dans la fabrication de supports adhésifs ainsi que les émissions découlent directement du traitement des déclarations annuelles de rejets des industriels [19] (consommation de solvants déclarée ou déduite de la production de l'usine).

En ce qui concerne la fabrication et la mise en œuvre des autres produits chimiques (en chimie fine et parachimie), quatre sous-secteurs sont définis :

- la production de produits à l'origine d'émissions de COVNM de la chimie fine hors pharmacie,
- l'extraction des arômes alimentaires ou de parfumerie,
- la production de savons et détergents à l'origine d'émissions de particules,
- diverses activités difficilement classables dans un secteur particulier.

Pour les procédés émetteurs de COVNM, les émissions sont déterminées à partir des déclarations annuelles de rejets des industriels [19] depuis 2004. Pour les années antérieures, les émissions sont estimées site par site suivant les activités, le niveau observé en 2004 et la mise en place de système de traitement des émissions de COVNM. Pour les procédés émetteurs de particules, les activités proviennent des statistiques publiées par l'UIC [118] et les émissions sont calculées à partir d'un facteur d'émission.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> traduisent la transformation du carbone contenu dans les émissions de COVNM en CO<sub>2</sub> 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].

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de COVNM**

##### a/ Mise en œuvre de produits chimiques

Les facteurs d'émission de COVNM proviennent directement de la littérature ou des professionnels. Pour le polyester et le polyuréthane, les facteurs d'émission proviennent de données internes au Citepa [329]. Pour le polystyrène, le facteur d'émission est issu de résultats du projet EGTEI [121] ainsi que d'une étude du Citepa pour l'AFIPEB [687]. Le facteur d'émission du PVC est recalculé en fonction des émissions de COVNM et de la consommation en PVC.

##### b/ Fabrication d'encre, peintures et colles

Les émissions de COVNM sont estimées à partir de facteurs d'émission nationaux : en 1985, un facteur correspondant à 5% des solvants mis en œuvre dans les produits en phase solvant était utilisé [122]. A partir de 1995, ce facteur est estimé à 3,4% [123]. Entre ces deux dates, les facteurs d'émission sont extrapolés. Pour les produits en phase aqueuse, un facteur d'émission équivalent à 3% des solvants mis en œuvre est utilisé.

A partir de 2007, les déclarations annuelles des émissions sont exploitées pour déterminer des facteurs d'émission annuels pour la fabrication de peinture et d'encre [19].

c/ Fabrication de pneumatiques et autres produits en caoutchouc, de supports adhésifs, de produits pharmaceutiques et autres produits chimiques (chimie fine et parachimie)

Une méthodologie bottom-up est mise en œuvre à partir des déclarations des industriels pour déterminer les émissions [19]. Connaissant les activités, les facteurs d'émission de COVNM sont directement déduits de ces informations et varient d'une année sur l'autre.

d/ Autres fabrications (chimie fine non pharmaceutique, extraction des arômes et divers autres)

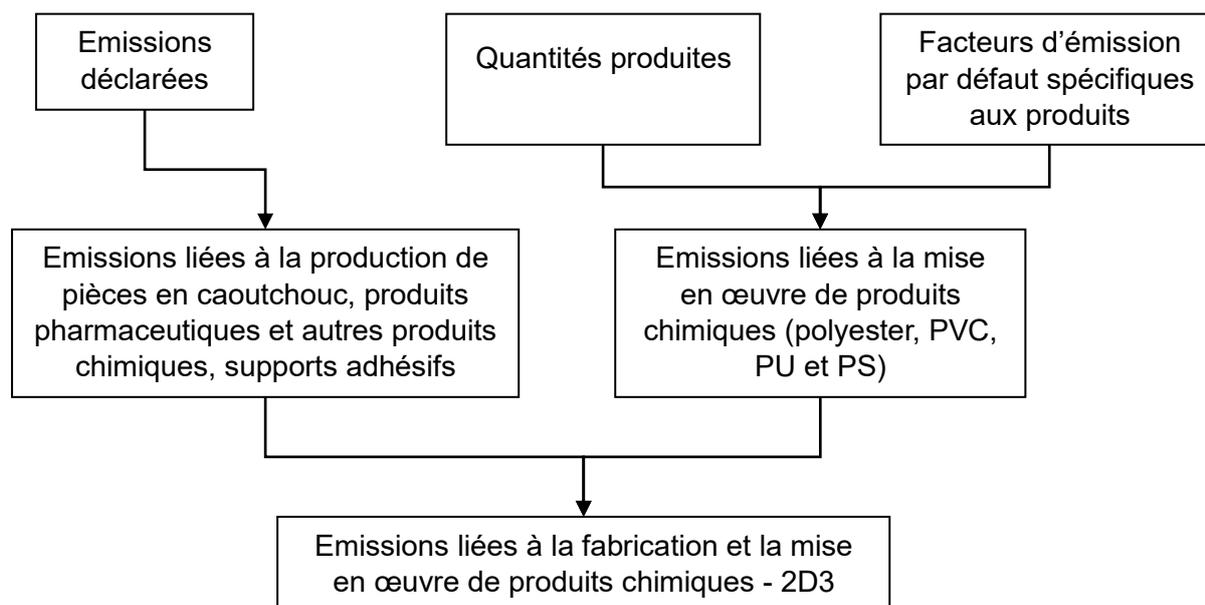
Une méthodologie bottom-up est employée à partir des déclarations des industriels pour déterminer les émissions [19]. Les déclarations sont disponibles depuis 2004. Pour les années antérieures, les émissions de l'année 2004 sont reportées. Compte tenu des consommations de solvants dans ces activités, les déclarations d'émissions sont considérées comme exhaustives. La diminution progressive des émissions s'explique notamment par la baisse de l'activité du secteur.

### ***Emissions de poussières totales en suspension (TSP)***

Il semble qu'il n'y ait pas d'émission de particules provenant de la production de savon mais le procédé de production de détergent par atomisation est source de particules. Un site en France utilise cette technologie.

Les émissions et l'activité de ce site sont connues pour 2006. A partir de ces données, un facteur d'émission a pu être calculé et appliqué pour les années antérieures à 2006. Depuis 2009, les émissions sont déterminées à partir de la déclaration annuelle des rejets de ce site [19].

### **Logigramme du processus d'estimation des émissions.**



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
13/02/2024	TB	15/02/2024	JV

## DEGRAISSAGE ET NETTOYAGE A 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.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.D.3.1
CEE-NU / NFR	2.D.3.e et 2.D.3.f
SNAPc (extension CITEPA)	060201 à 060202
CE / directive IED	6.7 (partiel)
CE / E-PRTR	9c (partiel)
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Estimation des consommations totales de solvants	Pour le dégraissage des métaux, directement déduits des émissions de COVNM Pour le nettoyage à sec, estimés à partir des données des industriels

### Niveau de méthode :

2 (par assimilation) du fait de la prise en compte de paramètres spécifiques à la France tels que les taux de recyclage des solvants ainsi que les taux d'émissions de solvants.

### Références utilisées :

[113] ECSA - European Chlorinated Solvent Association

[114] CTTN - Centre Technique de la Teinture et du Nettoyage

[683] CEFIC - European Chemical Industry Council. Communication de données sectorielles pour le nettoyage à sec et le dégraissage

[750] MEDDE - Publication "Vers l'interdiction du perchloréthylène en France" - Aout 2013

[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

### Caractéristiques de la catégorie (IIR) :

Ces deux secteurs sont caractérisés en partie par l'emploi de solvants chlorés et sont essentiellement émetteurs de COVNM. Le secteur du nettoyage à sec touche principalement de petites installations situées en zone urbaine et dans les centres commerciaux. Quelques grandes installations industrielles réalisent cette activité. Le perchloroéthylène, composé

organique volatil halogéné classé avec une mention de danger H351 (effet cancérigène suspecté), a été le solvant le plus employé dans ce secteur. Cependant, l'arrêt de l'utilisation du perchloréthylène dans les locaux contigus à des locaux occupés par des tiers a été mis en place selon un échéancier évolutif du 1er mars 2013 au 1er janvier 2022 [750]. Par conséquent, la consommation de perchloréthylène pour le nettoyage à sec a fortement chuté de ce fait.

L'activité de nettoyage de surface entre dans un processus de production mais n'est pas une activité industrielle à part entière. Elle se retrouve dans de nombreux secteurs industriels comme une simple étape du processus de fabrication. La réduction des émissions est liée notamment à l'emploi de machines hermétiques pour les usages de trichloroéthylène, qui augmente le taux de recyclage des produits.

#### Méthode générale d'estimation des émissions (NIR) :

Pour le dégraissage des surfaces, l'activité correspond aux consommations totales de solvants (neufs + recyclés). Les taux de recyclage et d'émissions des solvants sont connus pour quelques années [113, 683]. Des interpolations sont faites pour les années manquantes.

Pour le nettoyage à sec, le perchloroéthylène (PER) est encore utilisé seulement dans les installations qui se trouvent dans des locaux non contigus. De nouveaux solvants hydrocarbonés commencent à pénétrer le marché français depuis les années 2000 (hydrocarbures, glycol, éther, etc.).

Les consommations de PER pour ce secteur sont déduites des ventes totales en France jusqu'en 2013. A partir de 2014, une estimation des consommations est réalisée en se basant sur la mise en œuvre de l'arrêté d'interdiction d'implantation de nouvelles machines au PER dans les locaux contigus à des commerces ou des habitations (98% des installations) et de l'interdiction totale d'utilisation à partir de 2022 [750]. Trois types de machines sont employés (i.e. machines à circuit ouvert, machines à circuit fermé et machines à circuit fermé nouvelle génération).

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

##### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> traduisent la transformation du carbone contenu dans les émissions de COVNM provenant des activités de dégraissage et de nettoyage à sec en CO<sub>2</sub> ultime.

Cette conversion se fait sur la base de la teneur en carbone calculée à partir de la spéciation COVNM, c'est-à-dire en fonction des substances émises par sous-secteur. La teneur en carbone globale des émissions 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%.

#### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

##### **Emissions de COVNM**

Ces activités sont émettrices de COVNM.

a/ Dégraissage

Les émissions de COVNM sont calculées à partir des taux de recyclage et d'émission des solvants. Ces taux sont revus régulièrement à partir d'informations fournies par la profession [113, 683]. Les émissions sont obtenues directement à partir des consommations et des taux de recyclage et d'émission déterminés.

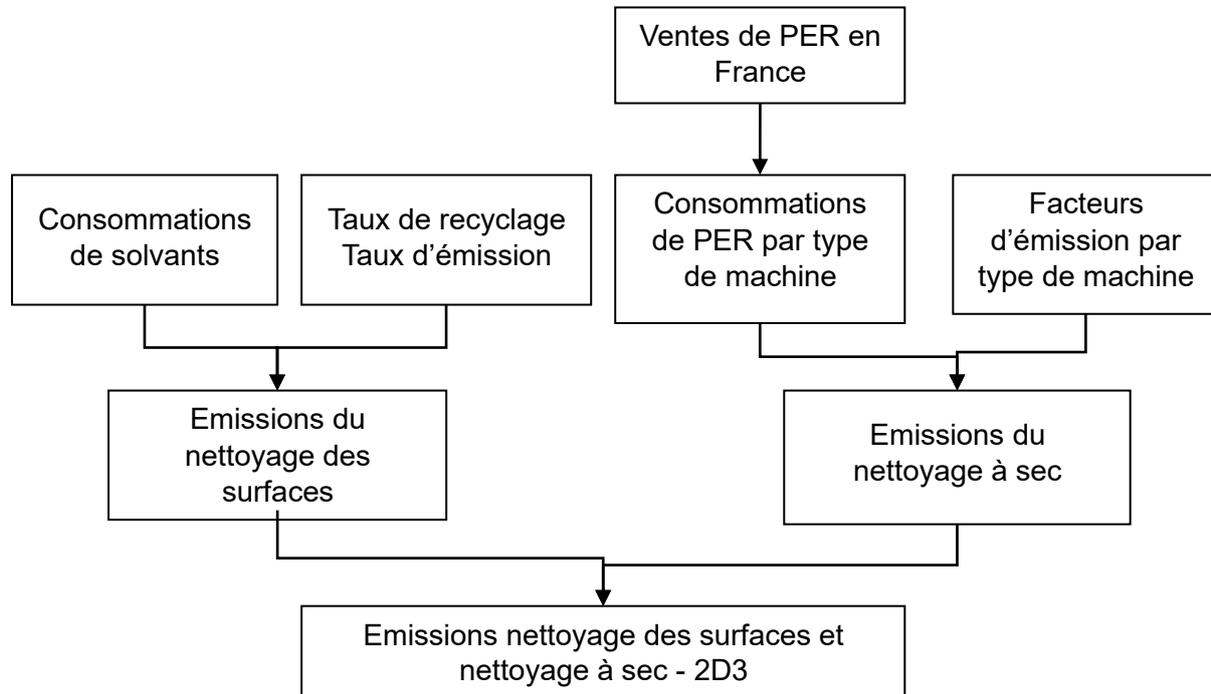
Depuis 1990, la consommation de solvants est en baisse, grâce à une meilleure maîtrise de l'utilisation des solvants par le développement de machines fermées et par l'utilisation de procédés sans solvant. Les émissions de COVNM associées suivent la même tendance.

#### b/ Nettoyage à sec

Des facteurs d'émission de COVNM sont définis pour chaque type de machine (i.e. machines à circuit ouvert et machines à circuit fermé de différentes générations) à partir des données des industriels [113, 683]. Les émissions sont calculées à partir des taux d'usage des différents types de machines qui évoluent d'année en année [114], des facteurs d'émission associés à ces types de machines et de la quantité de vêtements nettoyés à sec.

Les consommations et émissions diminuent du fait, d'une part, d'une utilisation plus répandue de machines à circuit fermé permettant de maîtriser et diminuer l'utilisation de solvants, et d'autre part, de la baisse de la quantité de vêtements nettoyés.

#### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
09/01/2024	VM	14/02/2024	JV

## LAMPES A MERCURE

Cette section se rapporte aux émissions liées à la casse des ampoules contenant du mercure.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	-
CEE-NU / NFR	2.D.3.a
SNAPc (extension CITEPA)	09.10.08
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Nombre d'ampoules usagées non recyclées	Valeurs nationales

### Niveau de méthode :

Polluants : Rang 2

### Références utilisées :

[976] EMEP/EEA 2016, 2D3a Domestic solvent use including fungicides, Table 3.6 - Hg emission factors /fluorescent tubes, 2016

[977] RECYLUM, Recyclage des lampes - Bilans annuels

[1190] RECYLUM, Recyclage des lampes - Echanges internes

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Une méthode nationale a été définie sur la base du contenu en Hg de divers types d'ampoules en contenant en lien avec la réglementation récente sur les teneurs autorisées par la réglementation.

On distingue trois types d'ampoules contenant du mercure :

- Les tubes fluorescents sont apparus dans les années 50. En 1990, ils étaient couramment utilisés dans le secteur tertiaire (59% de la consommation d'électricité du tertiaire en 1990) et très utilisés dans l'industrie (84% de la consommation d'électricité de l'industrie en 1990).
- Les lampes fluorescentes compactes (LFC) fonctionnent sur le même principe que les tubes fluorescents. Les lampes fluorescentes compactes sont apparues dans les années 80 mais n'étaient pas encore utilisées dans le résidentielle en 1990. Elles sont employées essentiellement dans le résidentiel.
- Les autres lampes à décharge (de haute intensité lumineuse) sont destinées à l'éclairage public.

Le mercure, concentré dans la matrice de poudre de phosphore, est présent en faible quantité (quelques mg) dans les ampoules sous ses trois états d'oxydation Hg (métal et vapeur), Hg<sup>+</sup> et Hg<sup>2+</sup>.

Les tubes fluorescents et les lampes fluorescentes compactes sont considérés dans l'inventaire français. Les lampes à décharges (lampes à vapeur de mercure haute pression, les lampes aux halogénures métalliques et les lampes sodium haute pression) contiennent aussi du mercure et même parfois dans des quantités plus importantes mais ne sont pas considérées, ce qui reste cohérent avec les Lignes Directrices EMEP/EEA 2016 [976] qui ne considèrent que les émissions correspondant à la casse des tubes fluorescents.

On considère dans la méthodologie nationale que les ampoules en fin de vie non recyclées finissent cassées que ce soit lors du transfert des points de collecte vers les points de recyclage (l'US-EPA considère que 3 à 5% des ampoules collectées sont ainsi cassées), soit dans les décharges quand elles n'ont pas été collectées sélectivement.

Le nombre annuel d'ampoules en fin de vie est estimé sur la base de données relatives au nombre d'ampoules vendues annuellement, disponible dans les rapports annuels de l'éco-organisme RECYCLUM<sup>17</sup> [977] depuis 2004, et de la durée de vie moyenne des ampoules (6 ans pour les LFC et 3 ans pour les tubes).

Le nombre annuel de LFC et de tubes recyclés est disponible auprès de RECYCLUM [977]/[1190]. Ces données sont transmises pour le territoire métropolitain. Concernant les territoires ultramarins (DROM et COM), les émissions sont estimées au prorata de la population.

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

##### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions ne sont pas estimées.

##### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Les émissions ne sont pas estimées.

##### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Les émissions ne sont pas estimées.

##### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances.

#### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

##### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions ne sont pas estimées.

##### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

---

<sup>17</sup> RECYCLUM : éco-organisme français en charge de la filière Responsabilité Elargie du Producteur (REP) dédiée aux déchets d'électronique

Les émissions ne sont pas estimées.

***Emissions de COVNM***

Les émissions ne sont pas estimées.

***Emissions de CO***

Les émissions ne sont pas estimées.

***Emissions de NH3***

Les émissions ne sont pas estimées.

***Emissions de poussières totales en suspension (TSP)***

Les émissions ne sont pas estimées.

***Emissions de PM10, PM2,5, PM1,0***

Les émissions ne sont pas estimées.

***Emissions de carbone suie / black carbon (BC)***

Les émissions ne sont pas estimées.

***Métaux lourds (ML)***

Mercuré (Hg)

Le FE nationale a été défini sur la base du contenu en Hg des types d'ampoule selon la réglementation en vigueur lors de leur mise sur le marché.

Comme les LFC sont majoritairement utilisées dans le résidentiel, la teneur moyenne en Hg retenue correspond à celle des ampoules de petite puissance (<50W). Entre 1990 et 2012 la teneur en mercure moyenne de ces ampoules est passé de 20 mg à 2,5 mg.

La teneur en Hg des tubes fluorescents est passé de 43 mg en 1980 à environ 9 mg à partir de 2000.

On considère dans la méthodologie nationale que tout le Hg contenu dans les ampoules cassées (à savoir les ampoules non recyclées qui finissent cassées lors du transfert ou dans les décharges) est émis à l'atmosphère.

Dans les décharges une très faible partie du Hg se retrouve dans les lixiviats et une partie pourrait se retrouver fixée dans le massif par des phénomènes de complexation entre les métaux lourds et les grosses molécules organiques ou adsorption sur des surfaces solides. Cependant on considère que tout le mercure finissant en décharge est émis à l'atmosphère.

Les émissions des autres métaux lourds ne sont pas estimées.

***Dioxines et furannes (PCDD-F)***

Les émissions ne sont pas estimées.

***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Les émissions ne sont pas estimées.

***Polychlorobiphényles (PCB)***

Les émissions ne sont pas estimées.

**Hexachlorobenzène (HCB)**

Les émissions ne sont pas estimées.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
07/02/2019	CV	11/02/2019	JV

## OXYDATEUR DE COVNM

Cette section couvre les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la destruction des COVNM en oxydateur ou incinérateur des sites utilisant des solvants.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.D.3.4 (partiel)
CEE-NU / NFR	2.D.3.i (partiel)
SNAPc (extension CITEPA)	060604 (partiel)
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Quantité de solvants détruits	Basé sur les quantités de COVNM détruits par oxydation ou incinération

### Niveau de méthode :

CO<sub>2</sub> : Rang 1 avant 2013 et rang 2 depuis 2013 (bottom-up pour l'ensemble des sites considérés et ratio COVNM/CO<sub>2</sub> national appliqué).

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[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

### Méthode générale d'estimation des émissions (NIR) :

Les données issues des déclarations des industriels permettant d'estimer la quantité de COVNM détruits transformés en CO<sub>2</sub> par oxydation sont de deux types :

- des plans de gestion de solvants (PGS) ;
- ou directement des émissions de CO<sub>2</sub> issues de l'oxydation des COVNM déclarées en dehors des PGS [19].

Pour les sites industriels fournissant un PGS, les informations du champ O5 (solvants détruits par un système de traitement) sont considérées en écartant les traitements par absorption, par adsorption et par condensation qui n'entraînent pas d'émissions de CO<sub>2</sub>.

Depuis l'année 2013, toutes les informations sont disponibles et sont prises en compte. Entre 2004 et 2012, les données des PGS sont disponibles et la part de destruction (incinération/oxydation) par rapport au O5 déclarés est supposée équivalente à celle de

2013. Avant 2004, les données de la dernière année disponible (2004) sont reportées faute d'information disponibles à ce jour.

A partir de 2013, les émissions de CO<sub>2</sub> 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.

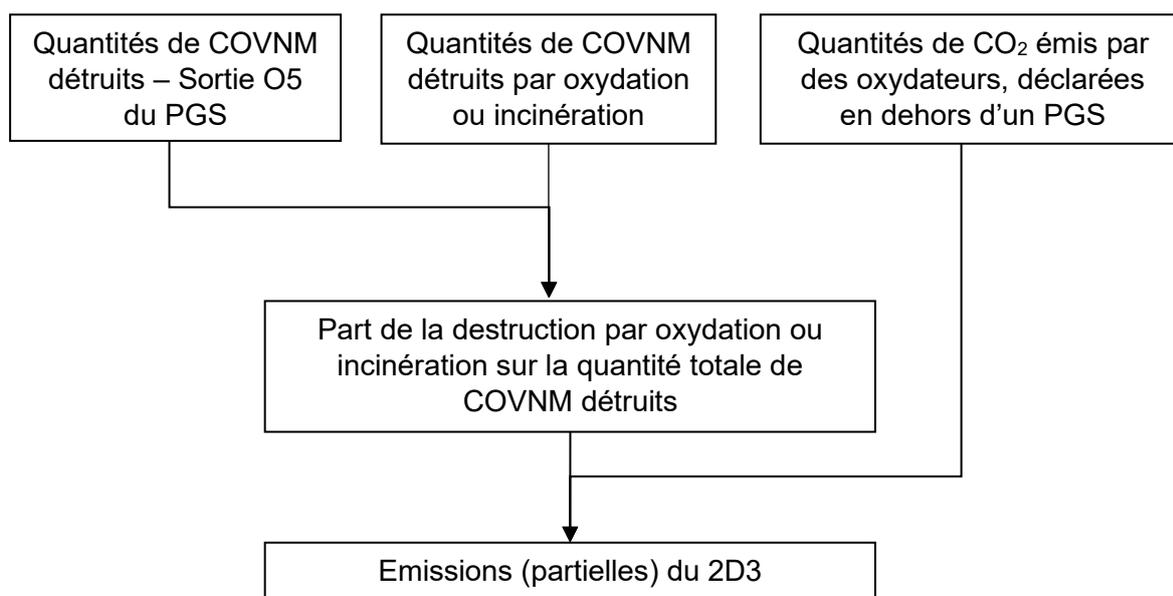
### Méthode d'estimation des émissions de GES :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

La destruction par oxydation ou incinération de COVNM est à l'origine d'émissions de CO<sub>2</sub> car les composés organiques sont oxydés et convertis en CO<sub>2</sub>.

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].

#### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
22/02/2024	TB	22/02/2024	JV/JPC

## AUTRES UTILISATIONS DE SOLVANTS

Cette section couvre les secteurs de l'imprimerie, l'extraction d'huiles comestibles et non comestibles, l'application de colles, l'élimination de la cire de protection sur les véhicules neufs, la protection du bois, l'enduction de fibres de verre et de fibres minérales, l'utilisation domestique de solvants (autre que la peinture), de colles et de produits pharmaceutiques et la consommation de gel hydroalcoolique. Le traitement et la protection du dessous des véhicules sont traités avec le secteur de la mise en peinture des voitures (cf. section relative à l'application de peinture).

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.G.4.b sauf gel hydroalcoolique 2.D.3.1
CEE-NU / NFR	2D3 (partiellement)
SNAPc (extension CITEPA)	060306, 060401 à 060406, 060408, 060409 et 060411
CE / directive IED	6.4b et 6.7
CE / E-PRTR	8b et 9c
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Traitement des statistiques de consommation au niveau national ou bottom-up suivant les secteurs	Spécifiques aux secteurs. Valeurs nationales par défaut ou informations par installation lorsqu'elles sont disponibles
Population pour l'utilisation domestique de solvants et de produits pharmaceutiques	

### Niveau de méthode :

Rang 1 à 2/3 par assimilation suivant les secteurs.

Rang 3 pour l'extraction d'huiles car connaissance des émissions de chaque installation.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [50] Données communiquées directement par les exploitants au CITEPA
- [96] INSEE - Statistiques démographiques annuelles (www.insee.fr)
- [111] FIPEC - Données statistiques sur les consommations de peinture, encres, etc.
- [124] PROLEA - statistiques annuelles
- [125] FIGG / ADEME / MEDD - Données relatives aux taux d'équipement des presses offset en incinérateurs, 2003
- [378] ADEME - La pollution des sols liée aux activités de préservation du bois - 1998.

- [684] INSEE - Données statistiques sur les productions de produits à base de solvants ou aqueux (peintures, encres, etc.) (de l'année 2009 à n-1)
- [685] Direction générale des douanes et droits indirects - Données imports/exports
- [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
- [941] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, section 2.D.3.i, 2.G Other solvent and product use, table 3-5
- [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](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
- [1215] Données européennes - productions, importations, exportations : [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/DS-056120\\_\\_custom\\_3664074/default/table?lang=fr](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/DS-056120__custom_3664074/default/table?lang=fr)
- [1300] Mail de Groupe européen de l'industrie des solvants (ESIG) avec des facteurs d'émission de COVNM par habitant liés à l'utilisation de solvants en France

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

En ce qui concerne les secteurs de l'imprimerie (i.e. offset avec sécheur, édition, emballages souples et emballages métalliques), les activités proviennent des statistiques de production d'encre [111] qui sont traitées afin d'obtenir les consommations françaises. Les déclarations annuelles des industriels sont aussi considérées afin de prendre en compte les techniques mises en place spécifiquement pour réduire les émissions [19].

L'activité du secteur de l'extraction d'huiles comestibles et non comestibles est basée sur les données fournies par PROLEA jusqu'en 2004 [124], puis sur les déclarations annuelles des industriels à partir de 2004 [19].

Pour les secteurs de la protection du bois, de l'application de colles et de l'enduction de fibres de verre et de fibres minérales, les consommations des différents produits ainsi que leurs caractéristiques sont déduites des données fournies par les industriels [19, 50 et 111].

Pour le secteur de l'usage domestique de solvants (hors produits pharmaceutiques), l'activité provient des productions [1172], des imports et des exports [685] permettant de déduire les consommations des différents produits domestiques.

Pour le secteur de l'usage domestique de produits pharmaceutiques, l'activité est représentée par la population [96].

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la consommation de gel hydroalcoolique ont été estimées. Celles-ci sont calculées à l'aide des facteurs d'émission fournis par *le Groupe européen de l'industrie des solvants (ESIG)*, la population [96] et des données statistiques monétaires relatives aux désinfectants (import, export et production) [1215].

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> traduisent la transformation du carbone contenu dans les émissions de COVNM en CO<sub>2</sub> ultime.

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].

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de COVNM**

##### a/ Elimination de la cire sur les véhicules neufs (NFR 2.D.3.i)

Cette activité n'est pas considérée comme source émettrice de COVNM car d'après les informations transmises [50], la couche de cire est retirée soit mécaniquement, soit avec de la lessive.

##### b/ Imprimerie (NFR 2.D.3.h)

Cette section comprend plusieurs sous-secteurs, tels que : offset avec sécheur, édition, emballages souples et emballages métalliques.

Pour le secteur de l'édition utilisant les techniques d'héliogravure ou offset avec sécheur, les activités de consommation de solvants dans les encres et les émissions de COVNM proviennent directement de la plateforme de déclaration annuelle des émissions polluantes GEREPE (méthodologie bottom-up) [19]. Les industriels déclarent sur cette dernière les quantités mises en œuvre et les émissions estimées à l'aide de plans de gestion de solvants (PGS). Cela permet également de prendre en compte les techniques mises en place spécifiquement pour réduire les émissions.

Quant aux autres secteurs, les activités sont déterminées à l'aide des statistiques de production d'encre [111], des importations, exportations (données des douanes) ainsi que des teneurs en solvants fournies par la Fédération des Industries des Peintures, Encres, Couleurs, Colles et adhésifs, Préservation du Bois (FIPEC). Les émissions sont estimées en appliquant un taux de réduction aux consommations.

Les facteurs d'émission de COVNM sont déduits des teneurs moyennes en solvants de chaque type d'encre [111] et du traitement des données par installation (lorsqu'elles sont

disponibles) afin de prendre en compte les techniques de réduction des émissions mises en place dans certaines usines [19, 125].

c/ Protection du bois (NFR 2.D.3.i)

Pour la protection du bois, les émissions de COVNM sont déduites directement des consommations des différents produits et de leur teneur en solvants [50]. Il est estimé que tous les solvants s'évaporent à l'atmosphère. Au niveau de l'application de produits de préservation dans l'industrie, il existe une dizaine d'installations consommant des produits solvantés.

d/ Application de colles (NFR 2.D.3.i)

Toutes les applications de colles (industrielles et domestiques) sont concernées ici.

Pour les applications industrielles, une partie des émissions est traitée. Les facteurs d'émission sont déduits des teneurs moyennes en solvants des colles et des déclarations [19].

Pour l'utilisation domestique, les facteurs d'émission de COVNM sont directement déduits des teneurs en solvants dans les produits. Ils évoluent annuellement en fonction des consommations des différents types de produits (produits à base de solvants ou aqueux) [111, 684, 685].

e/ Extraction d'huiles comestibles et non comestibles (NFR 2.D.3.i)

Les émissions de ce secteur sont directement déduites des déclarations annuelles des industriels [19]. Les facteurs d'émission baissent régulièrement suite à l'équipement des usines en systèmes de récupération des solvants.

f/ Enduction de fibres de verre et de fibres minérales (NFR 2.D.3.i)

Les émissions dues à l'enduction de fibres de verre et de fibres minérales (roche et laitier) sont directement déduites des déclarations annuelles des industriels [19]. Le facteur d'émission est déterminé par rapport à la quantité de COVNM mis en œuvre.

g/ Utilisation de solvants domestiques (hors produits pharmaceutiques) (NFR 2.D.3.a)

Les facteurs d'émission sont calculés à l'aide des quantités de produits consommés (production, import, export) et des teneurs en COVNM par catégorie (constantes entre 1900 et 2015, puis de nouvelles données appliquées à partir de 2016).

h/ Utilisation domestique de produits pharmaceutiques (hors gel hydroalcoolique) (NFR 2.D.3.a)

Le facteur d'émission de COVNM est calculé sur la base de l'activité en solvants et des émissions de COVNM.

i/ Utilisation de gel hydroalcoolique (NFR 2.D.3.a)

Les émissions de COVNM liées à l'utilisation de gel hydroalcoolique sont estimées. Celles-ci sont calculées pour l'année 2020 dans un premier temps, année qui correspond à la crise sanitaire où la consommation de gel hydroalcoolique a explosé. *Les facteurs d'émission de COVNM par habitant liés à l'utilisation domestique des solvants (y compris l'éthanol) ont été fournis par le Groupe européen de l'industrie des solvants (ESIG) pour les années 2019 et 2020 [1300]. La différence entre ces deux facteurs d'émission multipliée par la population de 2020 [96] représente approximativement les émissions de COVNM liées*

à l'utilisation de gel hydroalcoolique en 2020. **Ensuite**, les émissions des gels hydroalcooliques pour les autres années sont estimées sur la base des émissions 2020 et des ratios de changements des données statistiques monétaires relatives aux désinfectants (import, export et production) [1215].

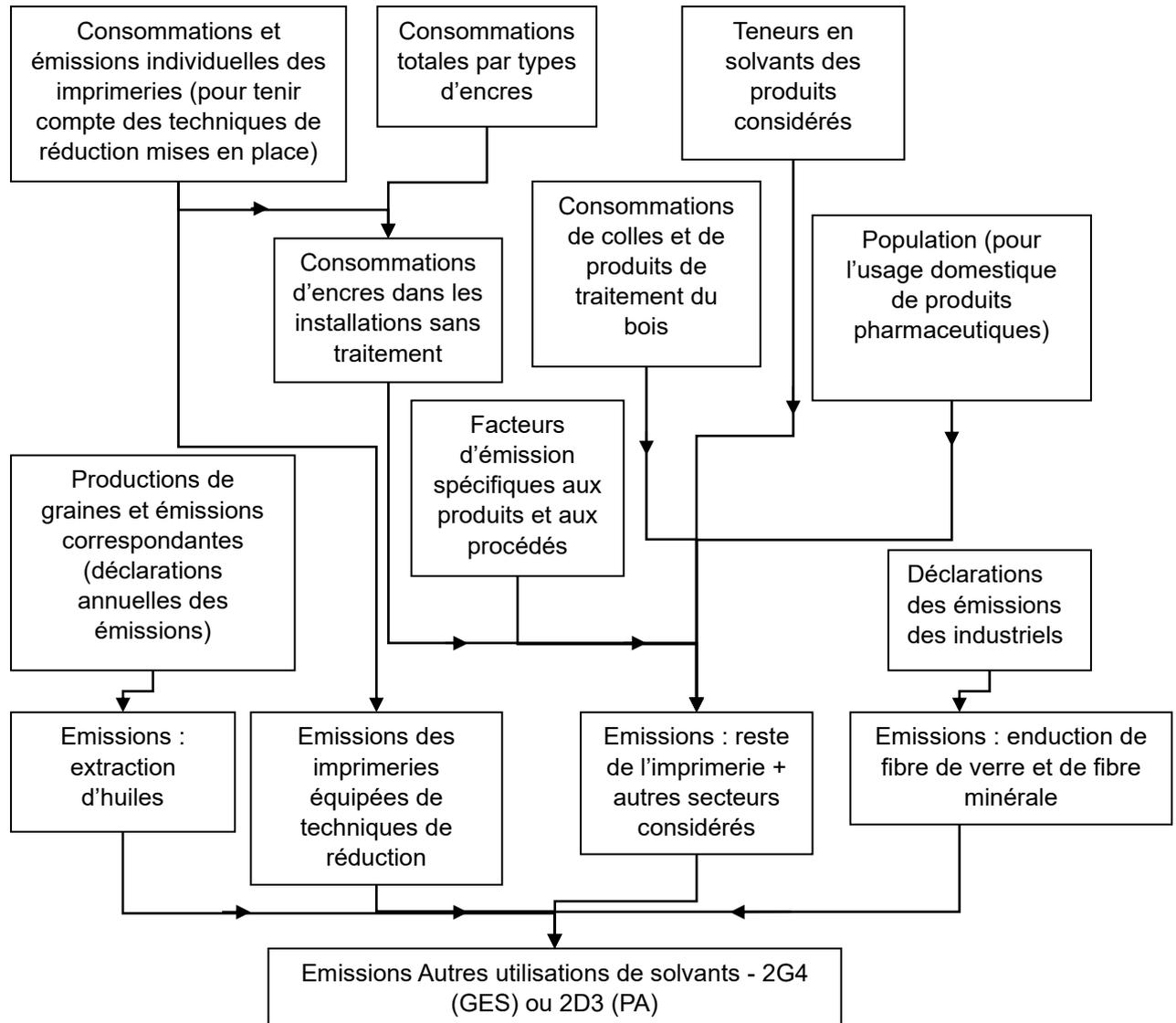
### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Les émissions de HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) sont calculées pour le secteur de la protection du bois.

Au sens de la CEE-NU, les HAP regroupent les quatre substances suivantes : benzo(a)pyrène, (BaP), benzo(b)fluoranthène (BbF), benzo(k)fluoranthène (BkF) et indéno(123-cd)pyrène (IndPy).

Les émissions de HAP sont calculées à partir des consommations des produits utilisés [378], au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque type de HAP [941], supposés constants dans le temps.

## Logigramme du processus d'estimation des émissions



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
30/01/2017	VI	01/02/2018	JV

## 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.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.D.3.1
CEE-NU / NFR	2.D.3.d
SNAPc (extension CITEPA)	060101 à 060109
CE / directive IED	6.7
CE / E-PRTR	9c
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Mix top-down (provenant des statistiques du secteur) et bottom-up lorsque les informations par usine sont disponibles.	Estimés au niveau national en concertation avec la profession dans le cas général. Recalculés à partir des facteurs d'émission spécifiques à chaque installation si ceux-ci sont disponibles.

### Niveau de méthode :

Rang 1 à 3 (par assimilation suivant les secteurs) du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [111] FIPEC - Données statistiques sur les consommations de peinture, encres, etc.
- [112] CEPE - Communication dans le cadre d'EGTEI - 2003
- [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
- [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

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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.

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

##### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> traduisent la transformation du carbone contenu dans les émissions de COVNM provenant de l'application de peintures en CO<sub>2</sub> ultime.

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].

Concernant l'application de peinture, les teneurs en carbone varient entre 70% et 90% selon le sous-secteur.

#### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

##### **Emissions de COVNM**

Ces activités ne sont émettrices que de COVNM dans cette catégorie.

##### a/ Construction de véhicules automobiles

Seule la fabrication de voitures particulières et d'utilitaires est considérée ici. Les émissions de COVNM dues à la mise en peinture d'autres véhicules (bus, camions et cabines de camions) sont comptabilisées avec les autres applications industrielles de peinture.

Les émissions de COVNM par véhicule produit ont diminué au fil du temps avec la mise en place d'équipements de réduction. Les émissions totales sont extraites directement des déclarations annuelles des industriels [19].

#### b/ Prélaquage

Les déclarations des industriels [19] sont utilisées lorsqu'elles sont disponibles. Pour les années manquantes, des reports des années connues sont effectués. Ces installations sont équipées d'oxydateurs depuis de nombreuses années. Cependant, des fluctuations importantes sont observées au cours du temps. Dans ce secteur, la grande majorité des émissions canalisées sont traitées.

#### c/ Application de peinture dans le bâtiment et la construction

Dans ce secteur, des efforts de réduction des teneurs en solvants dans les peintures ont déjà été réalisés et se poursuivent. La consommation en solvants de ces secteurs est calculée à l'aide des productions de peinture fournies par la FIPEC [111] jusqu'à 2007. A partir de 2008, les données de production n'étant plus disponibles, elles sont estimées à l'aide des évolutions interannuelles des ventes de peintures fournies par la FIPEC [111] et des imports/exports publiées par les douanes [685].

Les teneurs en solvants des peintures sont revues régulièrement avec les professionnels du secteur [111, 112]. Les facteurs d'émission varient donc d'année en année, avec une baisse notable à partir de 2007 suite à la mise en œuvre de la Directive 2004/42/CE.

#### d/ Réparation automobile

Dans ce secteur, des efforts de réduction des teneurs en solvants dans les peintures ont déjà été réalisés et se poursuivent. La consommation en solvants de ce secteur est calculée à l'aide des productions de peinture fournies par la FIPEC [111] jusqu'à 2007. A partir de 2008, les données de production n'étant plus disponibles, elles sont estimées à l'aide des évolutions interannuelles des ventes de peintures fournies par la FIPEC [111] et des imports/exports publiées par les douanes [685]. Les teneurs en solvants des peintures sont revues régulièrement avec les professionnels du secteur [111, 112]. Les facteurs d'émission varient donc d'année en année.

Une réduction des consommations de solvants est observée à partir de 2007 avec la mise en œuvre de la Directive 2004/42/CE.

#### e/ Marine

La consommation en solvants de ce secteur est calculée à l'aide des productions de peinture fournies par la FIPEC [111] jusqu'à 2007. A partir de 2008, les données de production n'étant plus disponibles, elles sont estimées à l'aide des évolutions interannuelles des ventes de peintures fournies par la FIPEC [111] et des imports/exports publiées par les douanes [685]. Les teneurs en solvants des peintures sont revues régulièrement avec les professionnels du secteur [111, 112]. Les facteurs d'émission varient donc d'année en année.

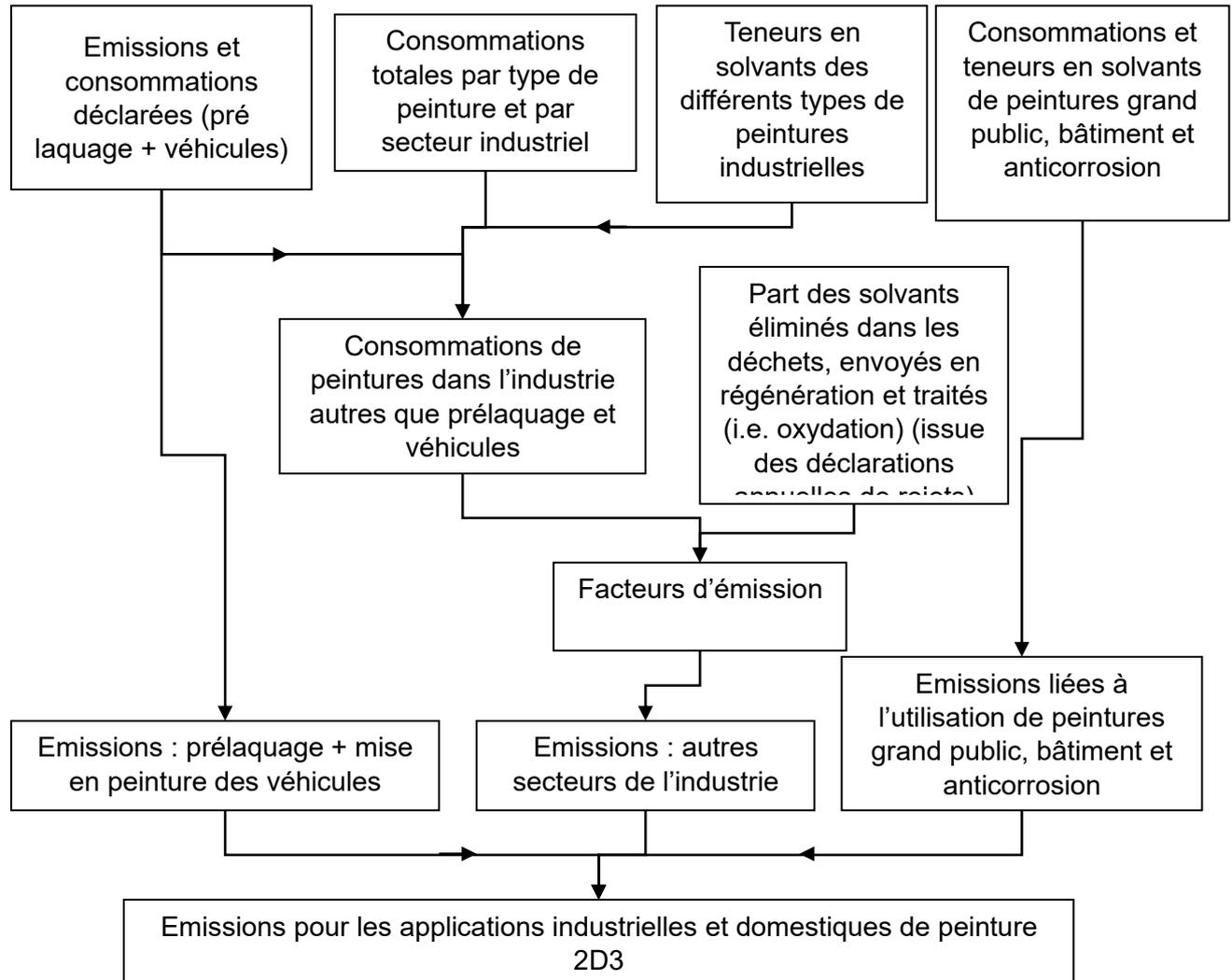
#### f/ Autres applications industrielles de peintures

Pour toutes les autres activités, les facteurs d'émission de COVNM sont déduits des consommations de peintures et de leurs teneurs en solvants [111, 684, 685] et du traitement des données disponibles par installation ce qui permet de prendre en compte les techniques de réduction mises en place dans certaines usines [19]. Les facteurs d'émission varient donc en fonction de l'utilisation des divers types de peintures (i.e. peintures à base de solvants, aqueuses ou en poudre).

#### g/ Utilisation domestique de peintures

Les facteurs d'émission de COVNM sont directement déduits des teneurs en solvants dans les produits. Ils évoluent annuellement en fonction des consommations des différents types de produits (produits à base de solvants ou aqueux) [111, 684, 685]. Une baisse notable du facteur d'émission est observée, suite à la mise en œuvre de la Directive 2004/42/CE à partir de 2007.

#### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
12/01/2018	RB	13/02/2018	JV

## FABRICATION DES SEMI-CONDUCTEURS ET PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

L'industrie des semi-conducteurs utilise des HFC, PFC, SF<sub>6</sub> et NF<sub>3</sub> lors de la gravure des plaques de silicium 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.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.E.1, 2.E.2, 2.E.3
CEE-NU / NFR	Hors champs
SNAPc (extension CITEPA)	06.02.03
CE / directive IED	6.7
CE / E-PRTR	Hors champs
CE / directive GIC	Hors champs

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Consommation annuelle de HFC, PFC, SF <sub>6</sub> et NF <sub>3</sub>	Recalculés à partir des émissions déclarées par les sites et selon les enquêtes de la profession

### Niveau de méthode :

Rang 2a.

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[213] SITELESC - Communication de données internes annuelles

### Caractéristiques de la catégorie :

Il existe moins d'une dizaine de sites de production de semi-conducteurs en France. A noter que ce secteur est le seul en France à consommer et émettre du NF<sub>3</sub>.

L'industrie des semi-conducteurs s'est engagée à réduire de 10% ses émissions en 2010 par rapport à 1995 en optimisant les consommations et en mettant en place des systèmes de traitement. Cet objectif a été atteint, la réduction des émissions exprimées en CO<sub>2</sub> équivalent ayant été supérieure à 40%.

Différents gaz fluorés sont utilisés : HFC-23, CF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>, SF<sub>6</sub> et NF<sub>3</sub>.

Une seule usine de production de panneaux photovoltaïques a consommé des PFC (CF<sub>4</sub>) en France de 1992 à 2011. A partir de 2012 le CF<sub>4</sub> a été substitué et n'est plus utilisé.

Il n'existe pas en France d'usine de production d'écran plat consommant des gaz fluorés.

#### Méthode d'estimation des émissions de GES :

##### **Emissions de Gaz fluorés**

Le SITELESC, syndicat regroupant les fabricants de semi-conducteurs, a réalisé annuellement une enquête sur les consommations et les émissions de gaz fluorés des installations jusqu'en 2014 [213]. Depuis 2014, les émissions et données d'activités sont transmises directement par les industriels.

L'estimation des émissions par les différents sites est réalisée selon la méthode 2a des lignes directrices du GIEC 2006 et les recommandations du WSC (World Semi-conductor Council).

Les facteurs d'émission induits pour chaque type de gaz fluorés sont calculés comme étant le rapport émissions/consommations.

Les émissions et consommations de  $CF_4$  du site de production de panneaux photovoltaïques proviennent des déclarations de l'exploitant de 2007 à 2011 [19]. Les émissions ont été estimées à partir d'un facteur d'émission appliqué aux consommations ne prenant pas en compte l'utilisation de dispositif de destruction ou de capture/récupération des gaz. Les consommations et les émissions pour les années antérieures à 2007 ont été estimées à partir d'informations sur les productions.

##### **Emissions de CO2**

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

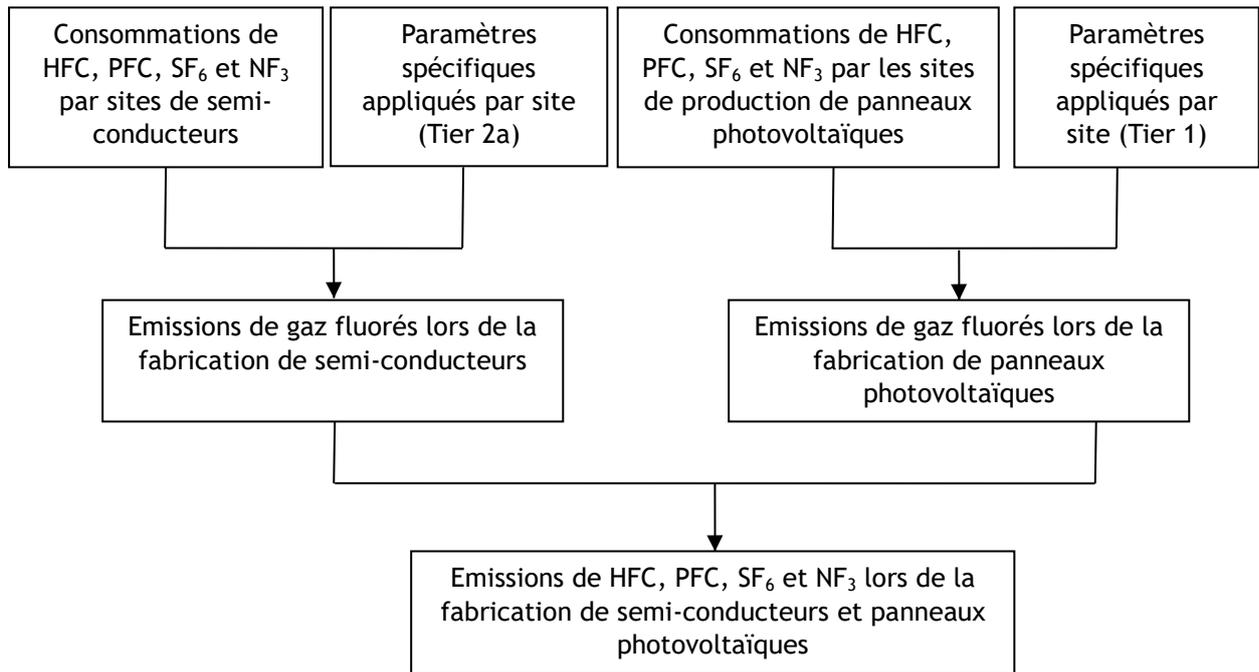
##### **Emissions de CH4**

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

##### **Emissions de N2O**

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

## Logigramme du processus d'estimation des émissions.



## CONSOMMATION DE GAZ FLUORES

Cette section couvre les émissions de HFC liées à l'utilisation de ces substances comme produits à part entière.

A la suite de l'interdiction des CFC par le Protocole de Montréal depuis 1994, les HFC ont été utilisés en substituts des CFC et des HCFC. Ainsi, ils sont utilisés dans la majeure partie des secteurs industriels, commerciaux et résidentiels, à savoir les secteurs de la réfrigération et de l'air conditionné, dans certains aérosols, dans la fabrication des mousses, comme solvants de nettoyage et dégraissage et dans certains extincteurs.

En 2014, le règlement CE n° 517/2014 du 16/04/2014 relatif au gaz à effet de serre fluorés impose une réduction progressive des quantités CO<sub>2</sub> équivalentes de HFC mises sur le marché européen de 2015 à 2030 et interdit la mise sur le marché de certains produits et équipements contenant des gaz fluorés selon un certain calendrier :

- A partir du 1<sup>er</sup> janvier 2015, les réfrigérateurs et congélateurs domestiques contenant des HFC dont le PRG est supérieur ou égal à 150 ;
- A partir du 1<sup>er</sup> janvier 2020, les équipements de réfrigération fixes qui contiennent des HFC dont le PRG est supérieur ou égal à 2 500, à l'exception des équipements destinés à des applications conçues pour refroidir des produits à une température inférieure à -50 °C ;
- A partir du 1<sup>er</sup> janvier 2020, les équipements de climatisation à air dites « mobiles » autonomes contenant des HFC dont le PRG est supérieur ou égal à 150 ;
- A partir du 1<sup>er</sup> janvier 2020, les mousses en polystyrène extrudé (XPS) contenant des HFC dont le PRG est supérieur ou égal à 150, et à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2023 les autres mousses contenant des HFC dont le PRG est supérieur ou égal à 150, sauf si ces types de mousse sont nécessaires pour satisfaire aux normes de sécurité nationales ;
- A partir du 1<sup>er</sup> janvier 2018, les aérosols techniques contenant des HFC dont le PRG est supérieur ou égal à 150, sauf si ce type d'aérosol est nécessaire pour satisfaire aux normes de sécurité nationales ou lorsqu'il est utilisé pour des applications médicales ;
- A partir du 1<sup>er</sup> janvier 2018, l'usage du SF<sub>6</sub> dans le moulage sous pression du magnésium et recyclage des alliages de magnésium moulés sous pression.
- Etc.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
23/02/2024	SB	23/02/2024	JV/JPC

## REFRIGERATION ET CLIMATISATION

Le Citepa a développé un outil dédié au calcul des émissions de réfrigérants. Il permet un calcul détaillé des émissions au cours de la vie des équipements pour toutes les applications du froid et de la climatisation. L'outil de calcul développé est couplé à des bases de données par territoire regroupant l'ensemble des hypothèses permettant de reconstituer les données d'activité et facteurs d'émissions par sous-secteur. En 2023, cet outil a été transposé en version web. Ce nouveau développement a été l'occasion d'améliorer quelques fonctionnalités, notamment de vérification des hypothèses (amélioration QAQC : vérification de l'exhaustivité des années, de complétude des données entrées sur l'historique, des répartitions de fluides frigorigènes utilisés de façon à ce que la somme soit bien à 100%, visualisation graphique des hypothèses et des résultats par sous-secteur, etc.). Ces nouveaux contrôles expliquent certains recalculs sur l'historique.

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 rapport RTOC 2018 de l'UN Environment et sur la structuration des données disponibles en France, le calcul est décomposé selon huit grands secteurs d'équipements :

1. Les applications domestiques,
2. La réfrigération commerciale,
3. Les transports frigorifiques,
4. Le froid industriel,
5. La climatisation fixe,
6. Les groupes refroidisseurs à eau,
7. Les pompes à chaleur résidentielles,
8. Et la climatisation embarquée.

Ces huit grands secteurs sont décomposés en sous-secteurs d'équipements. La reconstitution de la base de données regroupant les données d'activité et de facteurs d'émission par sous-secteur pour la France métropole a été finalisée pour toutes les applications. Les hypothèses sont détaillées dans ce rapport.

### Correspondance dans divers référentiels

CCNUCC / CRF	2.F.1
CEE-NU / NFR	Hors champs
SNAPc (extension CITEAP)	06.05.02
CE / directive IED	Hors champs
CE / E-PRTR	Hors champs
CE / directive GIC	Hors champs

## Approche méthodologique

Activité	Facteurs d'émission
Marchés et productions d'équipements par sous-secteur Evolution des fluides frigorigènes utilisés Ratios de charge (kg/kW) ou charges moyennes Durée de vie	Spécifiques, déterminés à partir d'enquêtes de terrain, d'informations données par les filières de traitement et avis d'experts sectoriels.

## Niveau de méthode

Rang 2a.

## Références utilisées

[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

[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)
- [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
- [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
- [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

## Caractéristiques de la catégorie

Quatre sources d'émissions sont à considérer :

1. Les émissions à la charge des équipements,
2. Les émissions pendant la durée de vie des équipements,
3. Les émissions en fin de vie des équipements, lors de leur démantèlement,
4. Les émissions liées à la gestion de conteneurs de fluides frigorigènes utilisés pour la charge ou la maintenance des équipements.

Tous les fluides frigorigènes utilisés par sous-secteur sont pris en compte. Une fois les émissions calculées par fluide d'usage, elles sont décomposées par fluide primaire (HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, de HFC-152a et de certains HFO, hydrocarbures (HC) ou CO<sub>2</sub>), en tenant compte de la composition exacte des mélanges.

Au cours du temps, plusieurs familles réfrigérants ont été successivement utilisées dans les équipements de climatisation et réfrigération : 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 ayant un plus faible impact sur le climat.

## Méthode d'estimation des émissions de GES

### ***Emissions de Gaz fluorés***

La méthode de calcul des émissions de HFC développée par le Citepa est basée sur les recommandations du GIEC, les améliorations apportées par les CES de MINES-ParisTech [207] et des travaux de thèse tels que [1153].

### Rappel des principes de l'Approche de niveau 2a

Dans le cas des réfrigérants, si les informations nécessaires sont disponibles (données par sous-application et facteurs d'émission spécifiques), les lignes directrices du GIEC recommandent d'utiliser, pour la réalisation des inventaires d'émissions de gaz à effet de serre, une approche de Niveau 2a, approche détaillée, par facteur d'émission. Cette méthode reconstitue la banque<sup>18</sup> 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.

---

<sup>18</sup> 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.

Figure 2F1- 1 Extrait des lignes directrices du GIEC 2006

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).

$$E_{\text{Totales}} = E_{\text{charge}} + E_{\text{duree-de-vie}} + E_{\text{fin-de-vie}} + E_{\text{conteneurs}}$$

(1.2F1)

Les lignes directrices ne mentionnent pas les émissions liées aux retrofits<sup>19</sup> 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 la donnée d'activité : statistique de parc, marché ou équipement, fluides frigorigènes, caractéristiques techniques (puissance frigorifiques, ratios de charge, etc.) ;

<sup>19</sup> 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.

- et d'un facteur d'émission. Dans le cadre de notre approche, les facteurs d'émission sont établis par enquête de terrain auprès de fabricants de matériels, de personnels chargés de la maintenance des installations, par consultation des quantités consommées pour la maintenance des équipements ou basés sur des avis d'experts. Les hypothèses retenues ont été comparées aux gammes de variations sectorielles fournies par les rapports du GIEC.

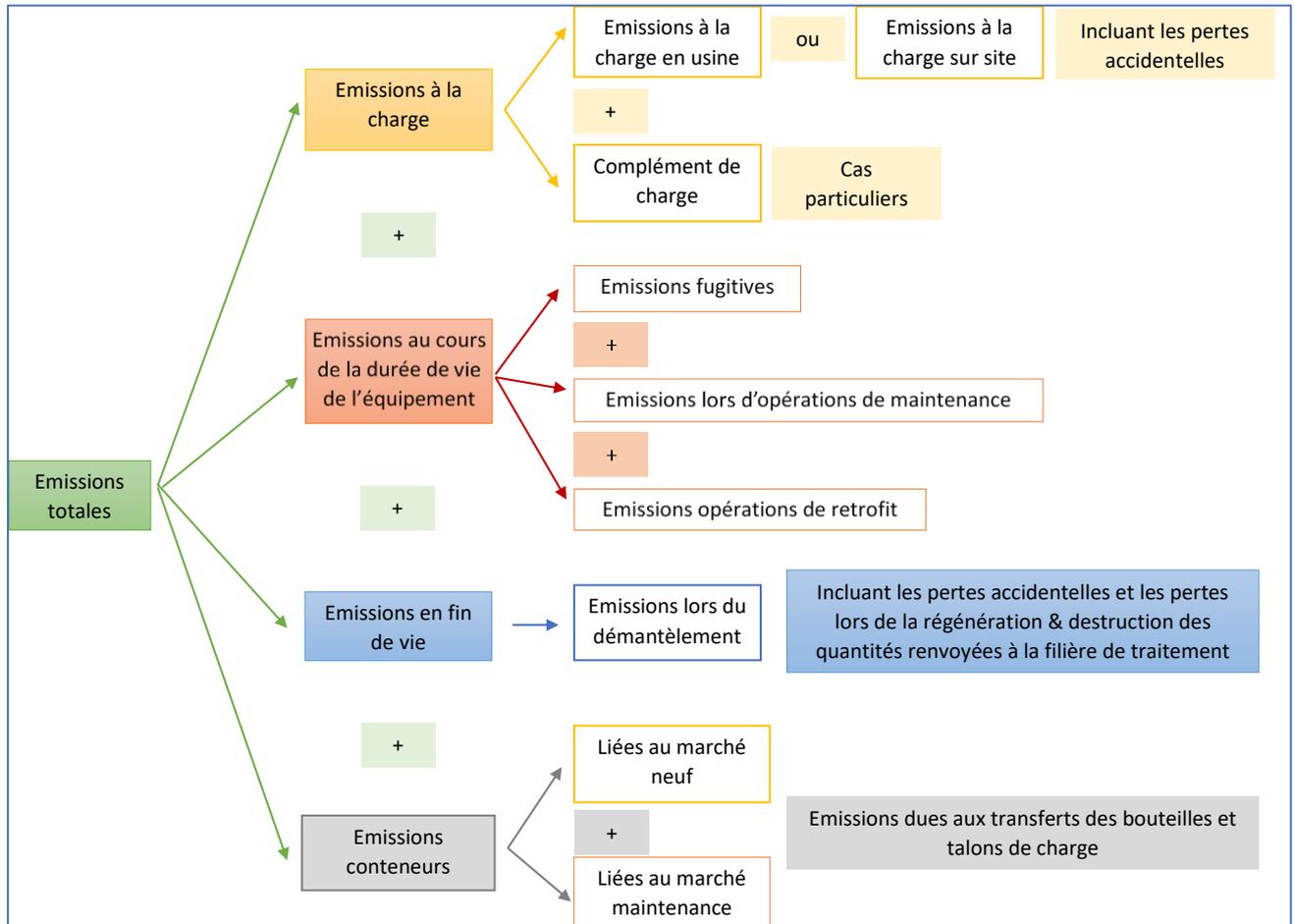


Figure 2F1- 2 Principes de la méthode de calcul des émissions de fluides frigorigènes

Dans le cadre de notre approche, les différents types d'émissions ont été analysés et calculés en fonction de la réalité du terrain : lieux de charges, types d'opérations se produisant au cours de la vie des équipements, mise en œuvre des obligations réglementaires, efficacité des filières de fin de vie.

### Emissions à la charge

Les émissions à la charge correspondent aux pertes lors de la manipulation du fluide frigorigène au moment de la charge de l'équipement. Les lignes directrices recommandent de les calculer relativement aux quantités de fluides frigorigènes chargées dans les équipements neufs et d'un facteur d'émission par sous-secteur.

<p><b>EQUATION 7.12</b></p> <p><b>SOURCES OF EMISSIONS WHEN CHARGING NEW EQUIPMENT</b></p> $E_{charge,t} = M_t \cdot \frac{k}{100}$
---

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

Figure 2F1- 3 - Emissions à la charge selon (GIEC, 2006)

Etant donné que celles-ci dépendent des lieux de charge de chaque équipement, il est pris en compte que :

- Si les équipements sont chargés en usine (ex : climatisation 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 plus faible pour les équipements chargés d'usine que pour les équipements chargés sur site pour lesquels une intervention manuelle est nécessaire.

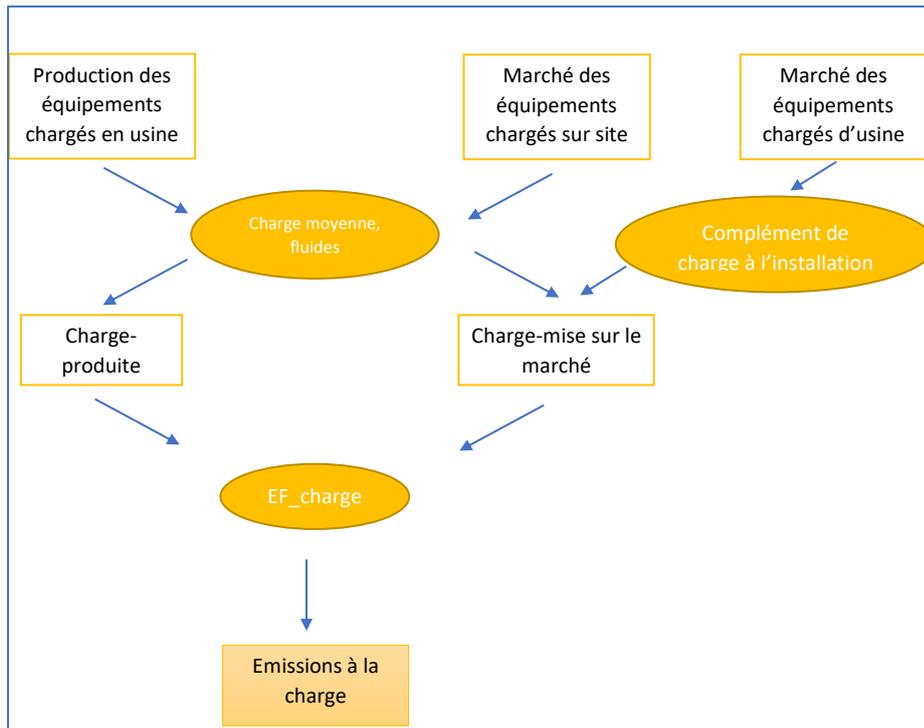


Figure 2F1- 4 - Calcul des émissions à la charge

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).

$$E\_charge(i,j) = EF\_charge(i) * [A_k * Charge\_produite(i,j) + [(1-A_k) + A_k * B_k] * Charge\_mise-sur-marché(i,j)] \quad (2.2F1)$$

Avec :

EF\_charge: Facteur d'Emission à la charge

$$Charge\_produite(i,j) = Equipment\_production(i) * Refrigerant\_production\_share(i,j) * Average\_charge(i,j) \quad (3.2F1)$$

$$Charge\_mise-sur-marché(i,j,k) = Equipment\_market(i,k) * Refrigerant\_market\_share(i,j,k) * Average\_charge(i,j,k) \quad (4.2F1)$$

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.

Tableau 2F1- 1 Table des modes de charge

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)	<b>0 pas de complément</b> X% => le complément de charge correspond à X% de la charge initiale

## 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- 5 - 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.

## 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).

$$\text{Charge\_réelle}(i,L) = (1-(i-L))\text{EF\_fug}(L)/100 * \text{charge\_market}(L) \quad (5.2F1)$$

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.

## 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 » (Figure 2F1- 6) 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 2F1- 6.

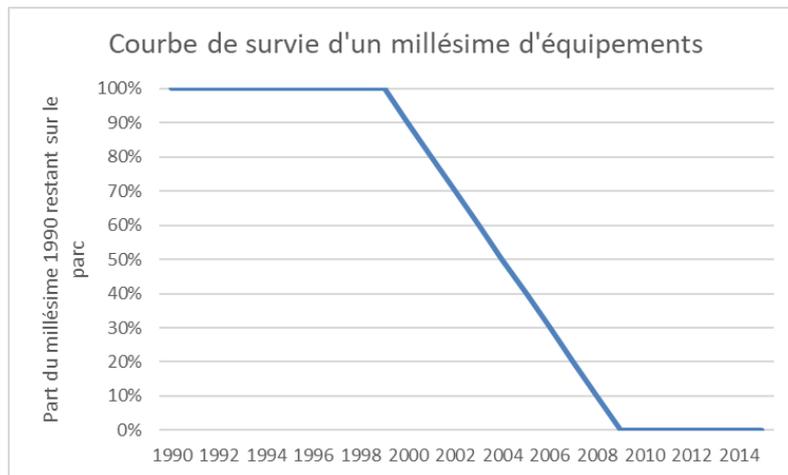


Figure 2F1- 6 - Exemple de courbe de survie pour un millésime d'équipements de durée de vie moyenne de 15 ans mis sur le marché en 1990.

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.

$$\text{banque}(i,j) = \sum_{L=i-DDV_{max}+1}^i \text{Part\_Restante}(L,i) * \text{charge\_marché}(L,j) \quad (5.2F1)$$

$$\text{banque}(i, j) = \sum_{L=i-DDV_{\max}+1}^i \text{Part\_Restante}(L, i) * \text{charge}_{\text{reelle}}(L, j) \quad (5\text{bis}.2F1)$$

Où L=millésime (ou année de mise sur le marché) d'un équipement

DDVmax = Durée de vie maximale atteinte par un équipement d'un millésime donné

Charge<sub>marché</sub> 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.

$$E_{\text{duree-de-vie}} = E_{\text{emiss\_fugitive}} + E_{\text{emiss\_servicing}} + E_{\text{emiss\_retrofit}} \quad (6.2F1)$$

## Emissions fugitives

Le calcul des émissions fugitives nécessite d'évaluer un taux d'émissions rapporté à la banque (Figure 2F1- 5). 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.

$$E_{\text{emiss\_fugitive}}(i, j, k) = \overline{EF_{\text{fugitive\_bank}}(i, k)} * \text{Bank\_reelle}(i, j, k) \quad (7.2F1)$$

## Prise en compte de la fréquence de maintenance

La maintenance est prise en compte de façon détaillée dans le calcul. Afin d'évaluer les occurrences de maintenance, il est pris en compte une charge réelle (5.2F1), correspondant à l'évolution de la charge de l'équipement au cours du temps. Celle-ci se trouve réduite des pertes fugitives annuelles jusqu'à l'atteinte d'un certain seuil pour lequel l'équipement doit subir une opération de maintenance et un complément de charge lui permettant de retrouver sa charge nominale. Les années où la maintenance a lieu (occurrences de maintenance), des émissions lors des opérations de maintenance sont considérées : elles sont évaluées en tenant compte d'un facteur d'émission à la recharge (EF\_recharge) de l'installation et des quantités rechargées, soit le complément de charge.

Dans le cas où le taux d'émission fugitive est rapporté au parc et correspond aux quantités consommées pour la maintenance, on considère une maintenance annuelle, sans décharge de l'installation et les émissions à la maintenance sont supposées incluses dans les émissions fugitives pour les installations dont la maintenance est annuelle car les quantités consignées dans les rapports d'entretien correspondent aux quantités consommées par l'opérateur au moment de la maintenance, incluant les quantités rechargées et les pertes.

$$Emiss_{maint(i,j,k)} = (1 - C(k)) * EF_{recharge(i,k)} * Complement_{charge(i,j,k)} + C(k) * EF_{recharge(i,k)} * Emiss_{fugitive(i,j,k)}$$

$C(k) = 0$  si la maintenance est annuelle, 1 sinon  
(8.2F1)

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.

## 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.

$$Charge_{retrofit}(i,j,k) = \sum_{Jret} Retrofit(Jret,j,i)/100 * Banque_{reelle}(i-1,Jret,k)$$

(9.2F1)

$$Banque_{retrofitee}(i,Jret,k) = (100\% - \frac{Retrofit(Jret,jret,i)}{100}) * Banque_{reelle}(i-1,Jret,k)$$

(10.2F1)

$$Emiss_{retrofit}(i,Jret,k) = EF_{decharge(i,k)} * Banque_{retrofitee}(i,Jret,k)$$

(11.2F1)

$$Emiss_{retrofit}(i,j,k) = EF_{recharge(i,k)} * charge_{retrofit}(i,j,k)$$

(12.2F1)

$Jret$  correspond au fluide vers lequel le retrofit est fait,  $j$  étant le fluide frigorigène d'origine.

$Retrofit(J1,J2,i)$  est la table donnant pour la part de la banque de fluide  $J1$  convertie vers le fluide  $J2$  l'année  $i$ , pour chaque sous-secteur  $k$ .

$EF_{decharge}$  = facteur d'émission lors de la décharge de l'installation

$EF_{recharge}$  = facteur d'émission lors de la recharge de l'installation avec le nouveau fluide frigorigène

## Emissions en fin de vie

Les émissions en fin de vie, au moment du démantèlement de l'équipement, vont dépendre dans certains cas de l'existence et de la performance de la filière de traitement et, dans d'autres cas, de la qualité de l'intervention sur site pour décharger l'équipement de son fluide frigorigène et le transférer aux usines de destruction ou de régénération.

**EQUATION 7.14**  
**EMISSIONS AT SYSTEM END-OF-LIFE**

$$E_{\text{end-of-life}, t} = M_{t-d} \cdot \frac{p}{100} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{\text{rec}, d}}{100}\right)$$

Where:

$E_{\text{end-of-life}, t}$  = 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

$\eta_{\text{rec}, d}$  = recovery efficiency at disposal, which is the ratio of recovered HFC referred to the HFC contained in the system, percent

Figure 2F1- 7 - 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 :

$$E_{\text{fin\_de\_vie}} = \sum_{L=i-DDV_{\text{max}}+1}^i \left( \text{Part}_{\text{Restante}(L,i-1)} - \text{Part}_{\text{Restante}(L,i)} \right) * \text{charge}_{\text{reelle}(L,j,k)} * EF_{\text{fin\_de\_vie}}(i, k)$$

(13.2F1)

Où  $\text{Part}_{\text{restante}(L,i-1)} - \text{Part}_{\text{Restante}(L,i)}$  donne la part du millésime  $L$  parvenant en fin de vie l'année  $i$

$EF_{\text{fin\_de\_vie}}$  = facteur d'émission en fin de vie de l'équipement = 100%-efficacité de la filière de récupération

Cette formule est appliquée de même façon pour le calcul des quantités rétrofitées parvenant en fin de vie.

## Emissions conteneurs

Ce sont les émissions liées à la manipulation des conteneurs et le transfert de fluides frigorigènes utilisés pour fournir le marché. Afin de les évaluer, il est nécessaire de connaître le besoin en fluides frigorigènes pour la production et la charge d'équipements neufs ainsi que pour la maintenance du parc et le 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.

<p><b>EQUATION 7.11</b></p> <p><b>SOURCES OF EMISSIONS FROM MANAGEMENT OF CONTAINERS</b></p> $E_{containers, t} = RM_t \cdot \frac{c}{100}$
---

Where:

$E_{containers, t}$  = emissions from all HFC containers in year  $t$ , kg

$RM_t$  = HFC market for new equipment and servicing of all refrigeration application in year  $t$ , kg

$c$  = emission factor of HFC container management of the current refrigerant market, percent

Figure 2F1- 8 - 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.

$\text{Quantités\_marché (i,j,k)} = (1 + \text{Part\_talons(i)}) * [\text{Besoin\_charge (i,j,k)} + \text{Besoin\_prod (i,j,k)} + \text{Besoin\_maintenance (i,j,k)} + \text{Besoin\_retrofit (i,j,k)}]$ <p style="text-align: right;">(14.2F1)</p>
---

Part\_talons = 15% (hypothèse distributeur)

Le marché calculé (14.2F1) est aussi comparé aux marchés déclarés par les producteurs et les distributeurs de fluides frigorigènes déclarées à l'Observatoire des Fluides Frigorigènes de l'ADEME [1154] et constitue une étape de vérification de cohérence de l'approche.

$E\_conteneurs (i,j,k) = EF\_conteneurs (i) / 100 * \text{Quantités\_marchés (i,j,k)}$ <p style="text-align: right;">(15.2F1)</p>
---

Avec  $EF\_conteneurs = 3\%$  (hypothèse distributeur)

### Remarque

La méthode de calcul décrite ci-dessus a été implémentée dans un outil développé dans Access par le Citepa. Celui-ci doit être couplé à une base de données 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

Tableau 2F1-2 Données d'activité pour le calcul des émissions de réfrigérants

Dans le cadre des inventaires, la base de données de la France métropole a été reconstituée pour les secteurs du froid domestique, de la climatisation à air, des pompes à chaleurs et des groupes refroidisseurs à eau. Pour les autres secteurs, le calcul des émissions 2018 a été réalisé en appliquant les principes de la méthode de calcul aux résultats 1990-2017. La croissance du marché d'équipements a été prise en compte par application ainsi que la tendance d'évolution des facteurs d'émission fugitifs et en fin de vie des équipements. L'évolution de la banque a été calculée en prenant en compte une durée de vie moyenne et non une courbe de durée de vie.

## Description des sous-secteurs

### 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.

#### Réfrigérateur

Les réfrigérateurs sont utilisés depuis de nombreuses années dans le froid domestique. Il existe différents types de réfrigérateurs :

- le table-top : il est équipé d'une porte dont le dessus est à hauteur du plan de travail (85 cm au-dessus du sol) et se compose généralement d'un compartiment principal de conservation et d'un petit compartiment de fabrication de glaçons ;
- le simple porte : il est équipé d'une seule porte et est composé d'un compartiment de conservation des denrées fraîches et éventuellement d'un petit compartiment de fabrication de glaçons ;
- le combiné : il est doté de deux portes avec en partie basse un compartiment de congélation et en haut un compartiment de conservation des denrées fraîches ;
- le double porte : il est aussi doté de deux portes mais le compartiment congélation se trouve cette fois en haut ;
- l'américain : il est composé de deux compartiments placés côte à côte, généralement un réfrigérateur et un congélateur.

#### Congélateur

Les congélateurs sont utilisés depuis de nombreuses années dans le froid domestique. Il existe différents types de congélateurs :

- le congélateur armoire : il est proposé dans des capacités allant de 45 litres à plus de 450 litres. Il occupe un espace similaire à un réfrigérateur et trouve sa place dans la cuisine ou dans le cellier ;
- le congélateur coffre : il peut offrir les plus grandes capacités de stockage, allant de 100 litres à 750 litres. Il est souvent équipé de paniers pour le rangement des denrées et trouve sa place dans un cellier ou un garage ;
- le congélateur table top : il est idéal pour les petits espaces avec une contenance d'environ 85 litres. Il mesure généralement moins d'un mètre.

En règle générale, un congélateur d'un volume inférieur à 150 litres est suffisant pour une personne seule, un volume de 150 à 250 litres pour 3 personnes, et plus de 250 litres pour une famille de quatre personnes.

### Sèche-linge pompe à chaleur

Depuis le début des années 2010, une nouvelle technologie fait appel à une pompe à chaleur afin de sécher les vêtements. En plus de capter et de réutiliser l'air chaud normalement expulsé vers l'extérieur, les nouveaux appareils produisent de la chaleur en comprimant l'air humide présent dans le culbuteur à l'aide d'une pompe. Cette pompe à chaleur utilise l'électricité, mais la machine consomme néanmoins beaucoup moins d'énergie que la sècheuse conventionnelle.

### Cave à vin

Apparues dans les années 1970, il existe plusieurs types de caves à vin :

- la cave de vieillissement : elle permet au vin de vieillir et de se bonifier dans des conditions régulées grâce à la stabilité de température (autour de 12°C), la bonne circulation de l'air et l'hygrométrie (entre 60 et 80%) ;
- la cave de mise en température : elle permet de conserver les bouteilles à température de dégustation ;
- la cave combinée ou multi-températures : c'est une cave polyvalente qui permet de stocker différentes sortes de vin sur plusieurs étages à des températures différentes offrant à la fois la possibilité de vieillissement et de mise en température.

### Généralités

#### Modes de charge

Les équipements domestiques sont tous chargés en usine (lieux de production).

#### Modes de maintenance

Il n'y a pas de maintenance faite sur ces équipements qui sont 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.

#### Données d'activités

Réfrigérateurs	2 900 000	0

Congélateurs	900 000	0
Caves à vin	190 000	25 000
Sèche linges thermodynamiques	470 000	0

## Marchés

### Réfrigérateur et congélateur

Le Gifam (Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'Appareils d'Équipement Ménager) [1090] publie chaque année les statistiques pour certains appareils domestiques, dont les réfrigérateurs et les congélateurs.

Une répartition des modèles de réfrigérateurs et congélateurs (en termes de volume moyen) sur le parc français est disponible pour certaines années (2001, 2011, 2017) [1090] [207]. Ainsi, les ventes annuelles en France sont connues avec une bonne précision.

### Sèche-linge pompe à chaleur

Le marché des sèche-linges pompe 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.

### Cave à vin

Le marché des caves à vin a vraiment décollé au début des années 2000 jusqu'à la crise de 2008 avant de repartir en 2010 et 2011. Le taux d'équipement des ménages français était relativement faible en 2005 (2,9%) et a augmenté pour concerner, en 2015, environ 7% des foyers français selon le Gifam. Le marché des caves à vin a été reconstitué à partir d'informations sur le parc des caves à vin en France pour certaines années (2007, 2010, 2011, 2015, 2017). Depuis 2018, les ventes annuelles de ces équipements proviennent du Gifam [1090].

## Productions

Les équipements domestiques étant chargés d'usine, la donnée d'activité à prendre en compte pour estimer les émissions à la charge des équipements sont les productions d'équipements.

### Réfrigérateur et congélateur

Les réfrigérateurs ne sont plus produits en France depuis 2001 et les congélateurs depuis 2005. Les données de production entre 1994 et 2000 proviennent des rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [207]. Les années antérieures sont estimées sur la base de la tendance entre 1994 et 1995.

### Sèche-linge pompe à chaleur

Parmi les sèche-linges fabriqués en France, seule une usine a fabriqué des sèche-linges 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 quantité moyenne de réfrigérant installée par appareil.

#### Cave à vin

Il existe un seul fabricant de caves à vin en France (groupe Eurocave). L'hypothèse a été faite de considérer les productions à partir de l'année où le marché des caves à vin a commencé à être représentatif en France, soit en 2000. Les productions antérieures ont donc été considérées négligeables, faute d'information du fabricant. Le volume de production en France en 2013 a été utilisé et provient d'une revue spécialisée [1094]. Les volumes de productions des années antérieures et postérieures ont été estimées en suivant les tendances d'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.

2022	Ratio de charge (kg/l) (R-600a)	Volume moyen (l)
Réfrigérateur	0.23	244
Congélateur	0.3	200

#### Sèche-linge pompe à chaleur

La quantité de réfrigérant R-134a contenu dans un appareil dépend des classes énergétiques, 280g pour les bases A+ et 370g pour les bases A++ d'après un fabricant [1091]. La moyenne des deux valeurs est considérée dans l'inventaire, soit 325 g/appareil. Ce volume de charge est cohérent avec la gamme proposée dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 50 et 500 g/appareil).

#### Cave à vin

La quantité de réfrigérant contenu dans les caves à vin varie en fonction de la gamme. Selon un fabricant [1092], cette quantité est comprise entre 30g et 100g. La valeur considérée dans l'inventaire la moyenne de ces deux valeurs, soit 65 g/appareil. Ainsi, pour cette sous-application, la charge de réfrigérant est également cohérente avec l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 50 et 500 g/appareil).

## Réfrigérants

La réglementation européenne CE 517/2014 interdit la mise sur le marché des réfrigérateurs et congélateurs domestiques contenant un fluide frigorigène de PRG supérieur à 150 depuis 1<sup>er</sup> Janvier 2015.

### 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].

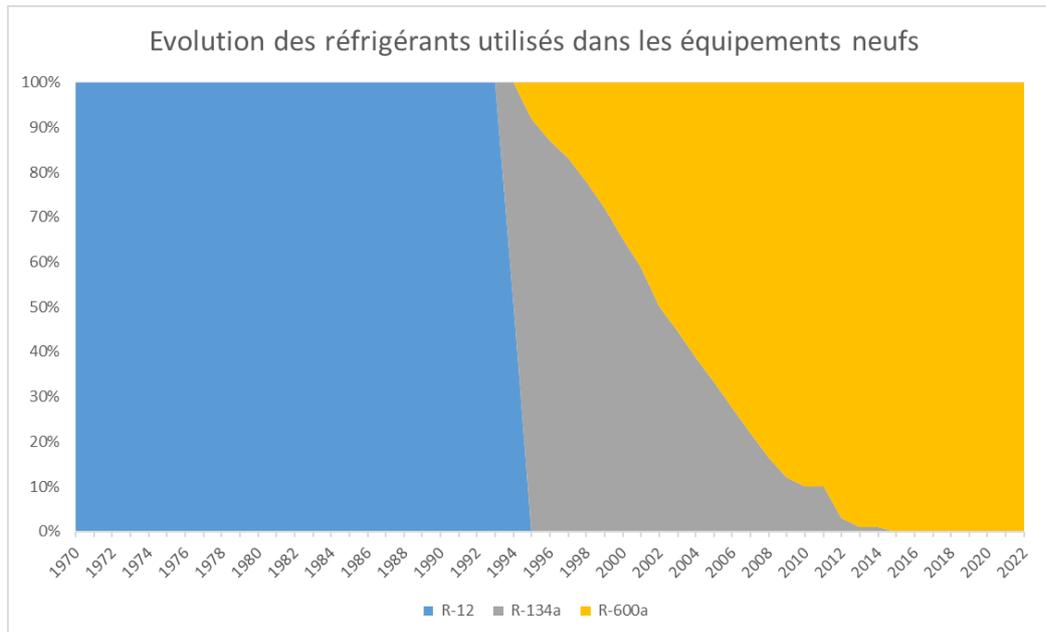


Figure 2F1- 9 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés sur le marché des réfrigérateurs domestiques

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<sup>er</sup> janvier 2015. L'intégralité des équipements mis sur le marché à partir de 2015 le sont avec du R-600a.

### Sèche-linge pompe à chaleur

Dans l'inventaire, il est supposé que seul le R-134a était utilisé dans les équipements jusqu'en 2018 où une enquête terrain [1093] a mis en évidence la présence de R-450A et R-290. Une introduction progressive de ces fluides a donc été prise en compte dans les hypothèses de calcul. En 2022, la répartition est estimée à 30% de R-450A / 70% de R-290.

### Cave à vin

En 2017, selon un catalogue de vente de caves à vin qui recense les produits et les diverses caractéristiques dont les réfrigérants, sur 25 produits le R-600a et le R-134a sont les fluides les plus employés. A noter qu'il existe également des technologies basées sur les systèmes de refroidissement thermoélectrique pour lesquels aucun gaz réfrigérant n'est utilisé. Une enquête terrain réalisé en 2019 [1093] a par ailleurs permis de constater que le R-600a était le fluide le plus largement utilisé. Il a été supposé une introduction du R-600a progressive en remplacement du R-134a à partir de 2000.

## Facteurs d'émission

### A la charge

En 2022	Réfrigérateurs	Congélateurs	Sèche-linges pompes à chaleur	Caves à vin
Facteur d'émission à la charge	0,2%	0,2%	0,1%	0,6%

#### Réfrigérateur et congélateur

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-linge pompe 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 processus de remplissage du gaz entre 2016 et 2017 explique en partie la forte baisse de ce facteur d'émission.

#### Cave à vin

Le facteur d'émission utilisé correspond à la moyenne de l'intervalle préconisé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 [1095], soit 0,6%.

## Fugitif

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 2022	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 les quantités de réfrigérants supposés être en fin de vie en fonction des mises sur le marché et de la durée de vie moyenne des équipements. Ce taux de récupération est supposé caractériser le secteur du froid domestique. Le même taux de récupération, et donc le même facteur d'émission fin de vie, est appliqué à chaque sous-application domestique.

En 2022	Appareils domestiques
Facteur d'émission fin de vie	42 %

## 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 5t. 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 fluide réfrigérant contenu dans le système de climatisation est en deçà d'un certain seuil à partir duquel la climatisation du véhicule fonctionne moins bien. Par ailleurs, les équipements de transport routier nécessitent une décharge complète du fluide lors de la maintenance. Les différentes hypothèses retenues dans le modèle sont listées ci-dessous :

Sous-secteurs	Rythme de maintenance	Seuil	Décharge complète lors de la maintenance
Climatisation automobile	selon seuil	60%	Oui
Véhicules industriels	selon seuil	60%	Oui
Car et bus	selon seuil	60%	Oui
Transport ferroviaire	selon seuil	50%	Non

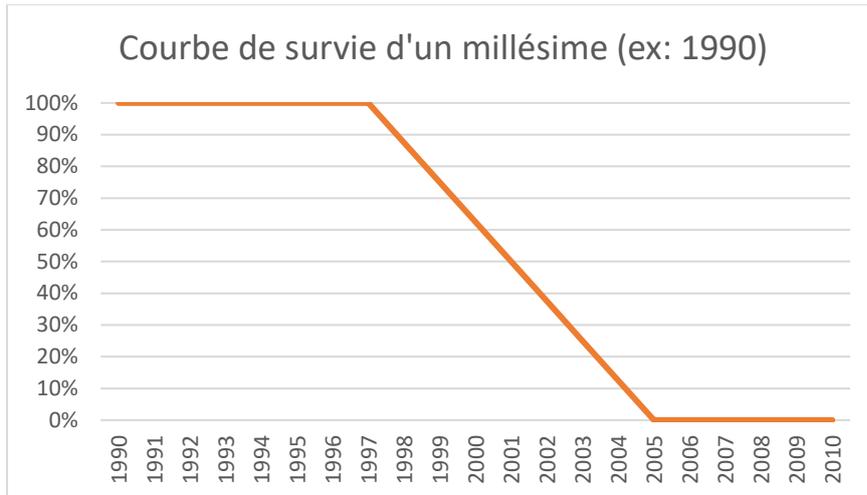
### Durée de vie moyenne

La durée de vie moyenne des équipements provient des rapports d'inventaire 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)
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.

### Courbe de fin de vie climatisation automobile



### Données d'activités

### Marchés

Deux paramètres sont indispensables pour reconstituer le parc de climatisation embarquée :

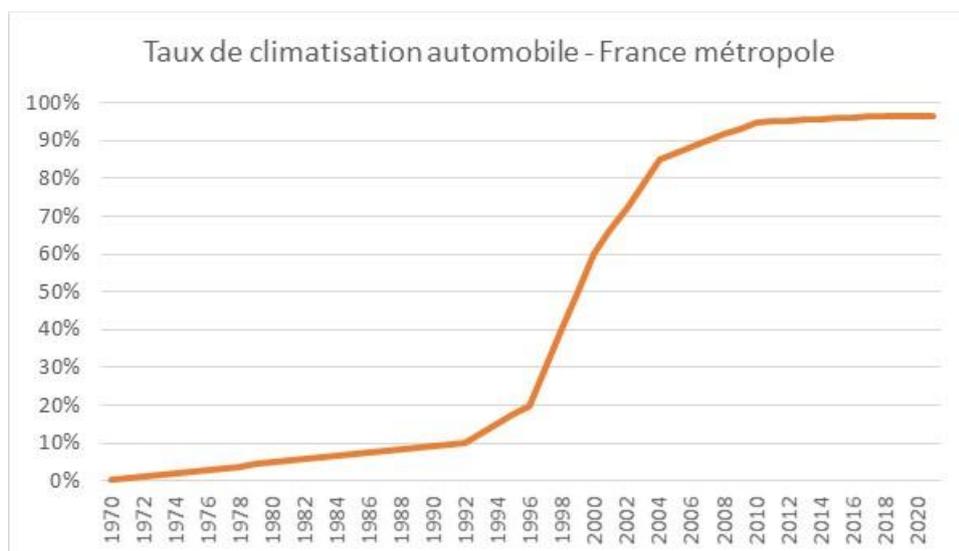
- Les ventes annuelles (ou nombre d'immatriculations neuves) du moyen de transport ;
- Le taux de climatisation du marché des nouveau équipements.

### 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].

## 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 qui est prolongé sur 2020-2022.

## Transport ferroviaire

Les marchés ont été reconstitués à l'aide du parc de chaque mode de transport.

Le parc de moteurs et de remorques (ou rames) de trains et TGV est connu relativement bien pour les années récentes avec les données publiées par le ministère chargé de l'écologie [1102]. Entre 2007 et 2017, le parc de matériel ferroviaire train/TGV s'est accru en moyenne de 2,3% par an. Dans cette même période, le parc des métros, RER et tramways a augmenté de 24% en France.

Dans cette sous-application, la donnée d'activité à renseigner n'est pas un nombre de train/TGV/etc. mais un nombre de climatisations équipant ces modes de transport. Pour cela, on se base sur diverses sources de données :

- pour les tramways, le rapport inventaire des fluides frigorigènes [207] indique qu'ils ont une climatisation par cabine et une autre climatisation pour 2 remorques ;

- pour les trains/TGV, la SNCF a communiqué son parc d'équipement de climatisation en 2013 qui a permis d'établir un ratio du nombre de climatisation par cabine et remorque pour chaque type de trains (TGV et autres trains) ;
- pour les métros, des informations ont été transmises par l'exploitant des transport parisien [1103] sur le nombre de rames dotées d'une climatisation puis extrapolées aux métros situés en province. De plus, il a été considéré que chaque cabine conducteur était équipée d'une climatisation.

## Productions

La production de trains, métro, RER et tramways a été considérée comme 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 2022, les niveaux moyens de charge par application sont les suivants :

2022	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.

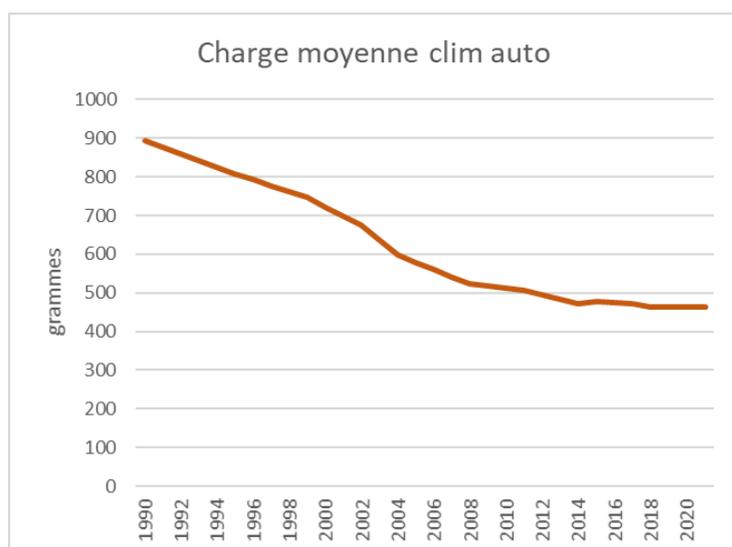


Figure 2F1- 10 - Charge moyenne de réfrigérant par véhicule (en kg)

#### 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 bus et cars dépend notamment de la longueur et du type de bus (en fonction, seule la cabine du chauffeur peut être 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, connaissant le parc d'équipements en TGV et autres trains ainsi qu'une distinction entre les cabines et les remorques, un ratio du nombre de climatisations par cabine et remorque pour chaque type de trains a été établi en 2013 à l'aide du nombre de climatisations et de la quantité de réfrigérant installé dans le parc issu d'un état des lieux du principal opérateur ferroviaire en France [SNCF] cette année-là. Ce ratio a ensuite été utilisé pour en déduire le parc d'équipement pour les autres années. Les quantités de réfrigérant déduits sont les suivantes :

- Environ 3 kg par cabine de TGV climatisée ;
- Environ 2 kg par cabine climatisée pour les autres trains ;
- Environ 19 kg par remorque voyageur TGV climatisée ;

- Environ 23 kg par remorque voyageur pour les autres trains climatisés.

Pour les tramways, RER et métros, les informations utilisées proviennent de la RATP [1103] et sont les suivantes :

- Entre 1 et 2 kg par cabine de métro climatisée ;
- Environ 2,5 kg par cabine de tramways climatisée ;
- Environ 5 kg par cabine de RER climatisée ;
- Environ 11,5 kg par remorque voyageur tramway climatisée ;
- Entre 13 et 17 kg par remorque voyageur métro climatisée.

## Réfrigérants

La directive 2006/40/CE du 17 mai 2006 concernant les émissions provenant des systèmes de climatisation des véhicules à moteur (MAC) interdit pour les véhicules neufs l'utilisation de fluide frigorigène dont le PRG est supérieur à 150 à compter du 1er janvier 2017. Cette directive européenne concerne les véhicules particuliers et non les véhicules utilitaires légers. Ainsi, le R-1234yf n'est pas présent dans l'intégralité des nouveaux marchés de véhicules. De même, la production des véhicules destinées à l'exportation hors Europe n'est pas concernée.

### Climatisation automobile

Au cours du temps, trois principaux fluides frigorigènes se sont succédé dans les climatisations des véhicules : le R-12 (CFC), le R-134a (HFC) et le HFC-1234yf (HFO), progressivement introduit sur les véhicules neufs mis sur le marché Européen depuis 2014-2015. Selon le RTOC [1107], tous les véhicules produits depuis 1995 sont équipés de climatisation au HFC-134a. La transition entre le R-12 et le R-134a s'est faite très rapidement, en deux ans environ.

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].

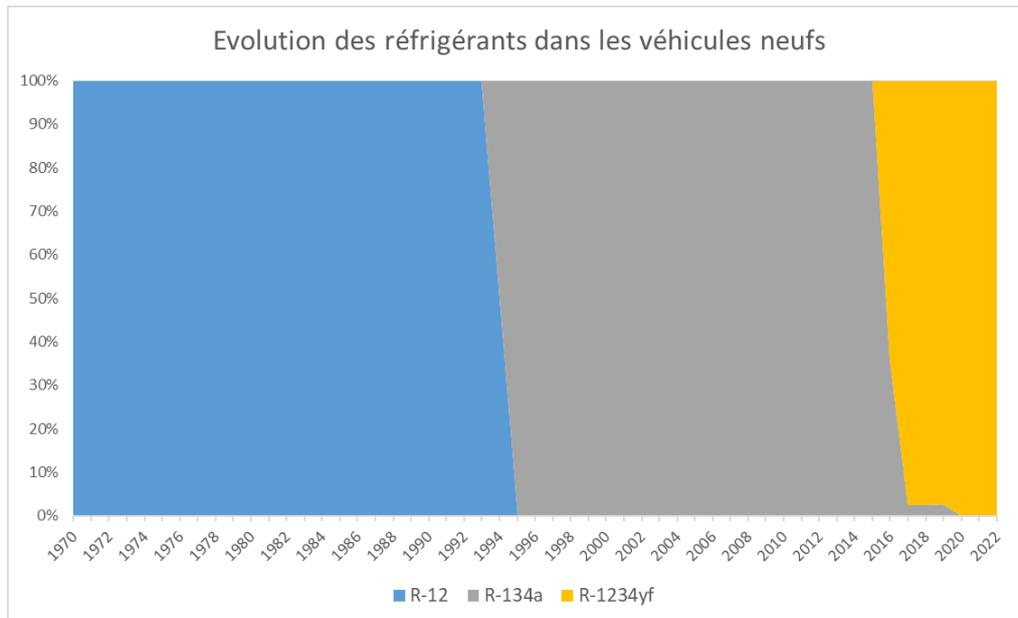


Figure 2F1- 11 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes de climatisation des véhicules particuliers et utilitaires légers mis sur le marché

#### Véhicules industriels

Deux fluides frigorigènes ont été utilisés dans cette sous-application : le R-12 et le R-134a. On suppose 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, hypothèse confirmée par 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 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 2022	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 2022	Climatisation automobile	Véhicules industriels	Cars et bus	Trains
Facteur d'émission fugitif	8 %	8 %	10 %	5 %

#### Climatisation automobile

Les facteurs d'émission pendant le fonctionnement des véhicules proviennent d'une courbe en S créée à partir 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%.

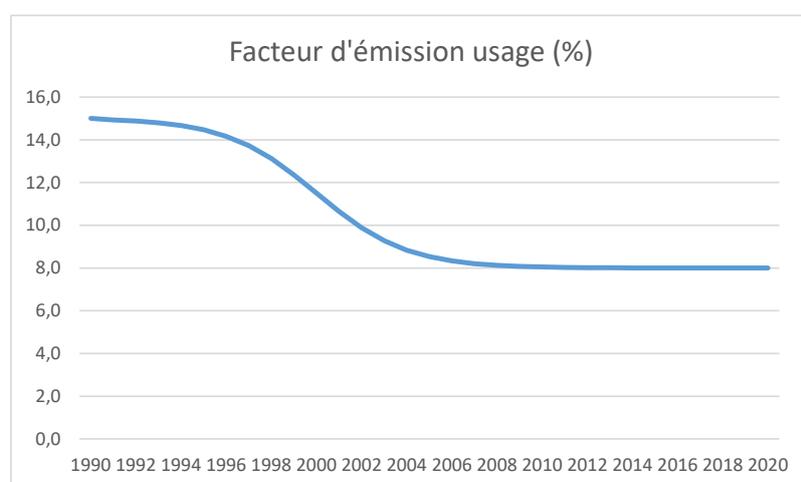


Figure 2F1- 12 - Facteur d'émission pendant la durée de vie des véhicules (en %)

### Véhicules industriels

Des facteurs d'émission identiques à ceux employés pour la climatisation automobile sont pris en compte pour les véhicules industriels.

### Car et bus

Les hypothèses retenues dans cette sous-application proviennent du RTOC 2010 [1108] dans lequel il est indiqué que les taux de pertes annuelles pour les cars et bus sont d'environ 10% de sa charge d'origine et que pour les engins construits avant 2000, ce facteur d'émission était 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 2022	Climatisation automobile	Véhicules industriels	Cars et bus	Trains
Facteur d'émission de fin de vie	45 %	85 %	50 %	12 %

### Climatisation automobile

Les émissions en fin de vie dépendent directement des quantités de gaz fluorés qui sont récupérées dans les véhicules hors d'usage (VHU) avant leur destruction. La directive 2000/53/CE du Parlement européen et du Conseil du 18 septembre 2000 relative aux véhicules hors d'usage (dite directive VHU) fixe des objectifs en termes de :

- Promotion des politiques de prévention des déchets lors des phases de conception et de construction des véhicules ;
- Création d'un système de collecte des VHU ;
- Conditions de traitement des VHU ;
- Réutilisation et valorisation des VHU ;
- Obligations de communication des différents acteurs.

Parmi les matières à valoriser, on recense notamment les fluides frigorigènes utilisés dans les climatisations. Dès 2005, l'ADEME a mis en place le suivi de la filière des véhicules hors d'usage en créant l'observatoire des VHU dans le cadre de la mise en œuvre de l'arrêté du 19 janvier 2005 portant sur la communication d'informations relatives à la mise sur le marché des automobiles en France, aux opérations de dépollution, de traitement et de broyage des véhicules hors d'usage. L'objectif étant de suivre les performances de la filière globale des VHU. L'ADEME rapporte ainsi chaque année dans son rapport les quantités de fluides frigorigènes récupérées par les filières de traitement des VHU. Cependant, ces données ne sont pas exploitables pour l'inventaire car les quantités de fluides récupérées sont estimées, et non mesurées, sur la base d'une quantité moyenne de fluide (0,54 kg) multipliée par le nombre de VHU. Ces quantités sont donc largement surestimées car d'une part tous les VHU ne sont pas climatisés, d'autre part, ceux qui le sont ont perdu une part de fluide pendant leur fonctionnement, et enfin la quantité moyenne de fluide contenue dans les véhicules dépend de la période de mise sur le marché.

Cependant, à la suite des revues internationales, il a été constaté que le taux d'émissions de fin de vie estimé pour la France était bien supérieur aux niveaux des autres pays européens alors que la filière VHU n'y est pas davantage mise en place. Des discussions lors des revues avaient également mis en évidence que la part exportée des véhicules en fin de vie n'était pas prise en compte et semblait non négligeable.

Par conséquent, une correction a été apportée depuis l'inventaire 2019 et un taux de récupération a été recalculé à partir de 2012 tenant compte :

- de la quantité de VHU traités par les casses annuellement,
- du gisement potentiel estimé à partir des données sur les marchés et la durée de vie moyenne des véhicules,

- et d'un taux de récupération des HFC au sein des VHU traités, sa tendance étant évaluée à partir d'hypothèses sur l'amélioration des comportements, bonnes pratiques et prix des HFC.

Pour les années antérieures, le taux de récupération est extrait des rapports d'inventaires de fluides frigorigènes [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 présent dans les rapports VHU de l'ADEME [1110] 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 des années suivantes ont été estimés tendancielle, pour atteindre 45 % d'efficacité de récupération en 2022, tenant compte des exportations.

Une tendance similaire décalée dans le temps est supposée pour les cars et bus.

#### Véhicules industriels

Les taux de récupération des fluides frigorigènes en fin de vie de ces véhicules sont supposés rester bas, faute d'information complémentaire. Les niveaux des anciens rapports d'inventaires [207] sont maintenus.

#### Transport ferroviaire

D'après le service de maintenance de la SNCF, la récupération en fin de vie des équipements de climatisation des trains est équivalente à celle réalisée lors des opérations de maintenance. La progression de l'efficacité de récupération est estimée à partir d'une courbe en S démarrant en 1990 pour atteindre 90 % dans les années 2020.

#### Transports frigorifiques

##### Structure du secteur

Le secteur des transports frigorifiques se compose de 3 sous-secteurs : les navires réfrigérés, les 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 quantité de fluide réfrigérant contenu 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 par équipement sont listées dans le tableau ci-dessous.

Sous-secteur	Rythme de maintenance	Seuil	Décharge 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

Véhicules utilitaires légers réfrigérés	5 800	5 500
Semi-remorques et camions réfrigérés	5 600	22 600
Reefers	<1	<1
Conteneurs réfrigérés	26 500	26 500

## Marchés

### Véhicules utilitaires réfrigérés légers

Le calcul de la banque de fluides et des émissions fugitives dépend du parc circulant en France, celui-ci peut être calculé à partir des marchés annuels de véhicules utilitaires légers réfrigérés.

Les marchés historiques (avant 2000) ont été reconstitués à partir des anciens rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [207] et d'hypothèses sur les taux de croissance du sous-secteur.

De 2002 à 2016, les données de marchés des véhicules frigorifiques ont été transmises par l'association Carcoserco (ou Fédération Française de carrosserie). Depuis 2018, le marché national est estimé sur la base de communication de la Fédération Française de Carrosserie (FFC) telles que « l'observatoire du véhicule industriel » [1113].

### Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques

Les marchés annuels de remorques et de semi-remorques ont été reconstitués de la même façon que pour les véhicules utilitaires légers réfrigérés.

### Reefers

La flotte maritime de navires réfrigérés est estimée à partir de la flotte mondiale pour laquelle des statistiques sont disponibles. Au niveau mondial, le marché est équivalent à la production. Il est considéré qu'une part de 10% peut être attribuée à la France.

Les marchés historiques (avant 2004) ont été reconstitués à partir des anciens rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [207] et d'hypothèses sur les taux de croissance du sous-secteur. Les marchés des années plus récentes ont été estimés à l'aide de données disponibles sur le site MarineTraffic et des anciens rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [207].

## Conteneurs frigorifiques

Comme pour la flotte de navires réfrigérés, seules des statistiques mondiales étant disponibles, le marché national de conteneurs réfrigérés est supposé égal à 10% du marché mondial.

Les marchés historiques et récents ont été estimés à partir des anciens rapports d'inventaires de fluides frigorigènes [207] et du Container Handbook [1115].

Le transport frigorifique par voie ferroviaire est peu développé en France : environ une centaine de wagons selon les anciens rapports d'inventaires de l'Ecole des Mines [207]. 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 sur certaines années [207] et extrapolées sur 2017-2022.

Pour les reefers et les conteneurs frigorifiques qui sont traités à l'échelle mondiale, le marché est supposé égal à la production.

## Charge

Concernant le transport routier, les charges sont estimées à partir des données issues d'enquêtes anciennes auprès de différents fabricants [207] et de communications récentes du Petit Forestier [1114].

Les charges des équipements du transport routier sont considérées constantes jusqu'en 2006 et, selon les communications des fabricants, en baisse progressivement depuis 2007.

Charge de référence (kg)	Avant 2006	2010	2022
Véhicules utilitaires réfrigérés légers	2,5	2,2	2
Systemes autonomes équipant les camions et semi-remorques	7,2	6,7	6.6

Pour le transport maritime, les charges sont estimées à partir des anciens rapports d'inventaires de l'Ecole des Mines [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 Cemafruid,
- d'échanges avec Petit Forestier [1114],
- d'échanges avec l'European Partnership for Energy and the Environment [1116].

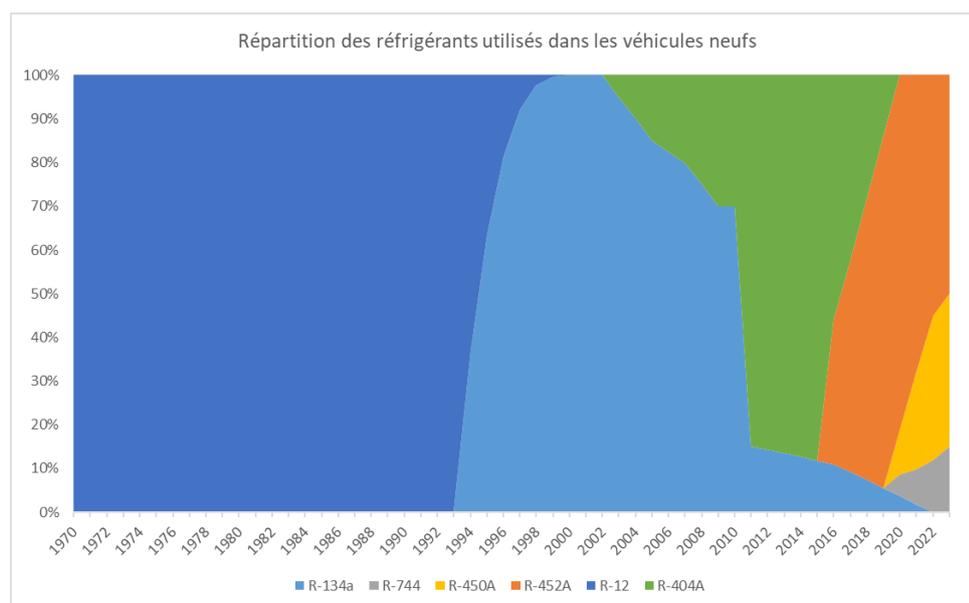


Figure 2F1- 13 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les véhicules frigorifiques utilitaires

### Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques

Les hypothèses retenues jusqu'au milieu des années de 90 considèrent que les camions et semi-remorques frigorifiques étaient chargés au R-502 (principalement) et au R-22. Durant la dernière décennie du XX<sup>ème</sup> 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 croit progressivement jusqu'à atteindre près de 15% de présence à la fin des années 2010. Parmi les hypothèses retenues dans la construction de la courbe d'évolution des fluides frigorigènes utilisés, en se basant sur les tendances fournies par le Cemafruid, 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.

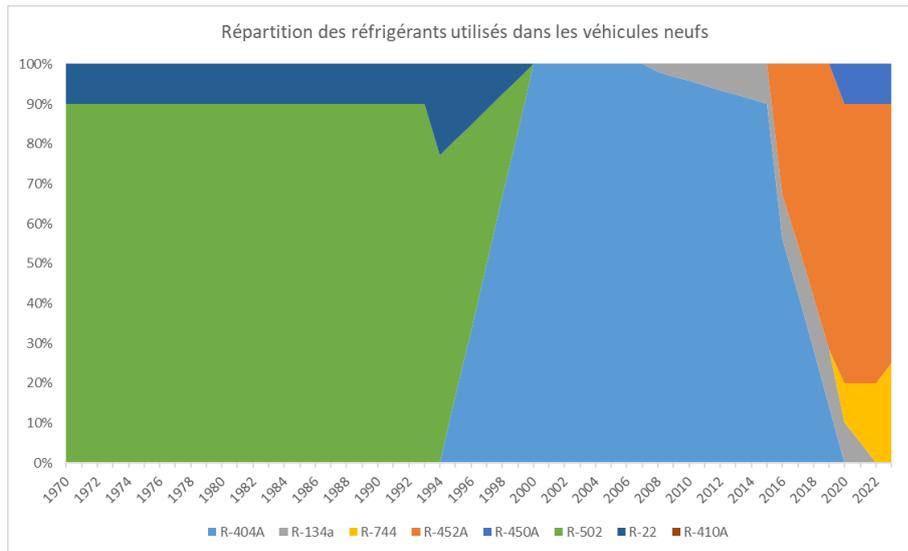


Figure 2F1- 14 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes de climatisation des camions frigorifiques semi-remorques

## Reefers

Entre 1970 et la fin 1999, le R-22 et le R-12 constituent les 2 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 ce fluide disparaît du parc français à la fin des années 90.

Durant les 2 premières décennies du XX<sup>ème</sup> 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. Sur 2020-2022 le R-404A n'est progressivement plus utilisé, au profit du R-717. Ces résultats reposent principalement sur les rapports RTOC et la prise en compte de l'évolution de la législation internationale.

## Conteneurs 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 et le R-744.

### Facteurs d'émission

#### A la charge

En 2022	Toutes applications
Facteur d'émission à la charge	1 %

Ces valeurs des facteurs d'émission à la charge sont issues des lignes directrices du GIEC de 1996 [1118] et de 2006 [1095] et considérés constants depuis 2006.

### Fugitif

En 2022	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 estimées sur la base du rapport RTOC de 1998 [1107] et des anciens rapports d'inventaire [207]. Depuis 2016, les facteurs sont considérés constants : de 15 % pour les reefers et de 20 % pour les conteneurs.

### Fin de vie

En 2022	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 récemment. 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 été mise en œuvre et poursuivie chaque année. Dans cette édition d'inventaire le sous-secteur « autres industries alimentaires » a été enrichi des productions de pâtisseries, chocolateries, produits surgelés et boissons gazeuses. Ce qui explique un recalcul par rapport à la précédente édition.

### 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, depuis deux ans, une enquête de terrain a permis d'entamer une collaboration avec des fédérations du froid agroalimentaire, de l'industrie du lait et de la viande en particulier.

Ce secteur est actuellement décomposé en 9 sous-secteurs :

- L'industrie agroalimentaire de la viande,
- L'industrie agroalimentaire du lait,
- Les autres industries alimentaires,
- Les entrepôts réfrigérés,
- Les tanks à lait,
- les patinoires
- L'industrie chimique,
- L'industrie pharmaceutique,
- L'industrie du caoutchouc.

## Généralités

### *Modes de charge*

Les installations centralisées des entreprises agroalimentaires, entrepôts et procédés industriels sont chargées sur site.

### *Modes de maintenance*

Les installations de froid industriel ont, le plus souvent, des charges élevées, rendant, en pratique, obligatoires plusieurs contrôles d'étanchéité par an. Il est considéré, dans les hypothèses du modèle, qu'une opération annuelle de maintenance a lieu, au cours de laquelle les quantités rechargées correspondent aux quantités perdues par émissions fugitives la même année.

### *Durée de vie moyenne*

Les installations de froid industriel ont des durées de vie élevées, considérées de 20 ans en moyenne. Une courbe de durée de vie est construite de façon à prendre en compte une variabilité des durées de vie au sein d'un même millésime d'équipements.

### *Données d'activités*

Pour les grandes installations de froid industriel, les besoins en froid peuvent être estimés à partir des productions et de ratios caractéristiques [207] :

- le ratio de charge en fluide frigorigène par kW (kg/kW) pour les systèmes à détente directe et pour les installations indirectes, en froid positif et en froid négatif ; ces ratios dépendent des systèmes et sont considérés communs à l'ensemble du froid industriel ;
- le ratio de puissance frigorifique nécessaire par tonnage produit (kW/t) ; ce ratio est propre à chaque sous-secteur de l'industrie agroalimentaire ou des procédés industriels et doit être affiné par l'enquête de terrain ;
- la part des systèmes indirects sur l'ensemble des installations (kW indirect/ kW total) ;

Ces ratios varient au cours du temps et permettent ainsi de prendre en compte la tendance à la réduction des charges moyennes et la pénétration croissante des systèmes indirects.

### *Productions*

#### *Industrie Agroalimentaire (IAA)*

Les productions agroalimentaires sont estimées à partir des publications de la base de données de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) [1151]. Celles-ci sont mises à jour avec un certain délai et présentent 1 à 3 ans de décalage par rapport à l'année en cours, selon les productions.

Les productions agroalimentaires prises en compte sont celles de la viande, du lait et produits laitiers et les autres productions agroalimentaires (surgelés, poisson, chocolat, brasseries, pâtisseries, boissons gazeuses.). Dans l'attente de données complémentaires issues de l'enquête de terrain, les productions agroalimentaires autres que celles de la viande et du lait ont été rassemblées en un seul sous-secteur « autres productions », les ratios caractéristiques n'ayant pas pu être revus.

#### *Entrepôts réfrigérés*

Les entrepôts frigorifiques sont distincts, dans le calcul, de l'industrie agroalimentaire même si une partie des entrepôts est utilisé par l'IAA (8 % en 2010).

## Répartition des surfaces d'entrepôts frigorifiques en France - Insee 2012

	en milliers de m <sup>2</sup>			
	Ensemble	Température		
		Positive	Négative	Mixte*
<b>Ensemble</b>	<b>11 648</b>	<b>6 501</b>	<b>1 026</b>	<b>4 120</b>
<b>IAA (yc agriculture)</b>	925	438	299	187
<b>Industrie</b>	931	867	0	64
<b>Commerce</b>	4 337	2 197	99	2 041
<b>Transports et entreposage (yc conditionnement)</b>	4 943	2 591	628	1 724
<b>Autres services</b>	512	408	0	104

Source : SOeS, enquête entrepôts 2010

\* Température mixte : à la fois positive et négative.

De même que pour l'industrie agroalimentaire, la donnée d'activité nécessaire au calcul est composée de la connaissance des surfaces totales et de différents ratios permettant d'aboutir à un ratio de charge moyen en kg/m<sup>3</sup> 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 %.

L'évolution du volume d'entrepôts est estimée en fonction de différentes publications. Le niveau 2021 (extrapolé à 2022) de la capacité d'entreposage frigorifique en France est estimé à 21 millions de m<sup>3</sup> réfrigérés d'après les données de l'USNEF (Union Syndicale Nationale des Exploitations Frigorifiques)

### Procédés industriels

Cette catégorie inclut les sous-secteurs des procédés de l'industrie chimique, pharmaceutique et du caoutchouc. L'enquête n'a pas permis cette année d'avoir de nouvelles informations concernant les productions de l'industrie chimique et pharmaceutique, qui sont marquées d'une forte incertitude. Afin de pouvoir mettre à jour ce secteur, il a été intégré dans l'outil GF et les hypothèses ont été reconstituées à partir des résultats d'inventaire jusqu'en 2016 et des publications des rapports d'inventaires associées.

### Charge

Dans le cas du froid industriel, la charge installée est estimée à partir 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
  - les caractéristiques générales des systèmes à détente directe et des systèmes directs pour le froid positif et le froid négatif ;
  - la part du froid négatif dans la puissance totale (dans le cas de l'industrie laitière, par exemple, cette part est de 20 %) et l'évolution tendancielle de la part des systèmes indirects, propre à chaque type d'industrie agroalimentaire

- Un ratio traduisant le besoin en froid pour la production, en kW/t, caractéristique du procédé.

	Viande (kW/t)	Lait (kW/t)	Autres (kW/t)	Entrepôts (kW/m <sup>3</sup> )	Tanks à lait (kg/m <sup>3</sup> )
Besoin frigorifique pour la production	0,044	0,013	0,044	0,032	0,91
Part de froid négatif	30 %	20 %	0 %	40 %	0 %

Dans le cas des patinoires, une charge moyenne est prise en compte. Une décroissance est prise en compte sur l'historique de façon à prendre en compte la tendance aux systèmes indirects et la pénétration des patinoires mobiles, pour atteindre environ 300kg par installation. La figure suivante montre l'évolution du ratio de charge (kg/kW) dans le cas de l'industrie laitière et la correction apportée à la suite de l'enquête auprès des fédérations de l'industrie laitière en 2021. Une surestimation de la charge avait été prise en compte jusqu'à présent, l'enquête n'ayant pas été mise à jour depuis plusieurs années.

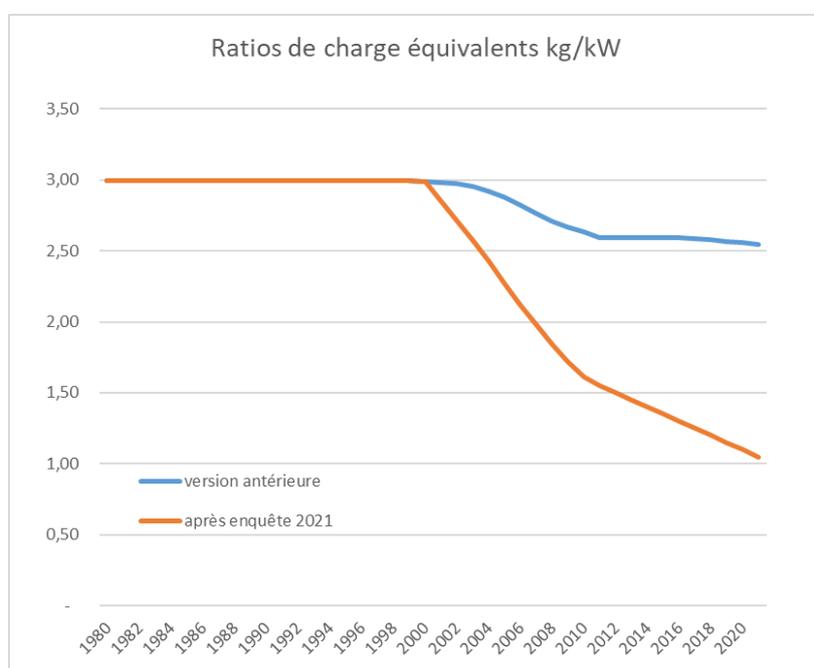


Figure 2F1-15 - Ratio de charge équivalent - Exemple de l'industrie laitière

## 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/CO<sub>2</sub> est pris en compte, et plus récemment, celle des systèmes CO<sub>2</sub> 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.

Pour les tanks à lait, le R-404A a été progressivement remplacé par le R-449A depuis 2016. Dans les patinoires, le R-134a reste majoritaire devant l'ammoniac, le R-448A, R-449A et CO2 sont progressivement utilisés.

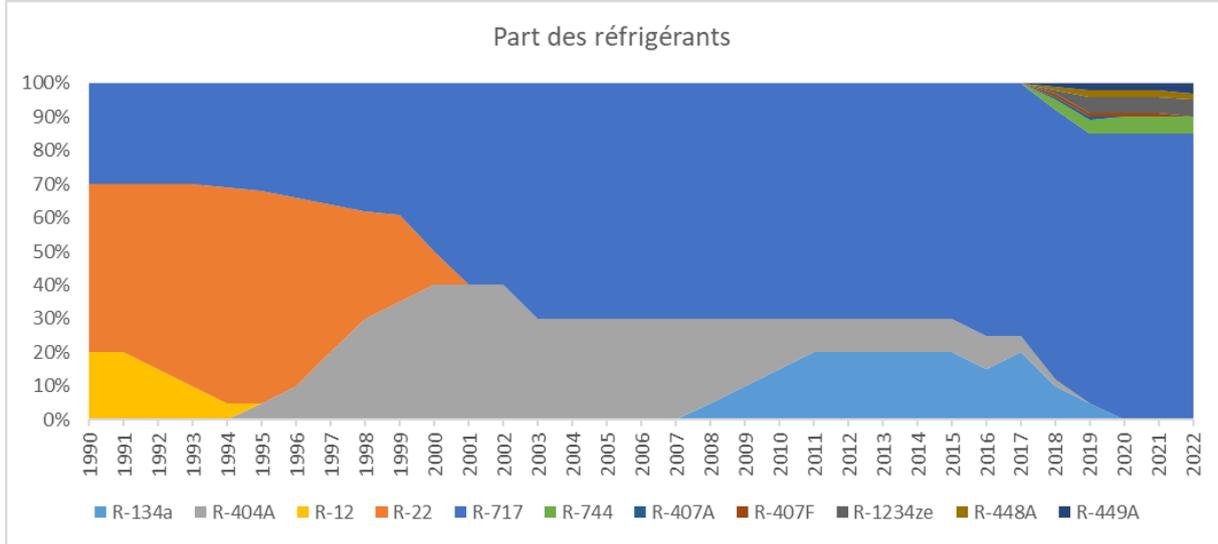


Figure 2F1-16 - Répartition des fluides frigorigènes utilisés en agroalimentaire - exemple de l'industrie du lait

### 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 2022	Toutes applications
Facteur d'émission à la charge	1,5 %

#### Fugitif

En 2022	Agroalimentaire	Entrepôts	Industrie chimique	Industrie pharmaceutique	Industrie caoutchouc	Tank à lait	Patinoires
Facteur d'émission fugitif	8 %	13 %	11 %	12 %	15 %	8 %	8 %

#### Industrie agroalimentaire et entrepôts

Sur la base des hypothèses des anciennes études d'inventaires [207], les taux d'émissions fugitives sont supposés de 15 % jusqu'en 2005. A la suite de l'enquête de terrain, les facteurs d'émission fugitifs de l'industrie agroalimentaire ont été revus à la baisse, significative depuis 2010.

#### Procédés industriels

Excepté dans le cas de l'industrie du caoutchouc où les quantités utilisées pour la maintenance ont été régulièrement communiquées et les taux d'émissions élevés (jusqu'à 100 % en 2005), les taux d'émissions fugitives sont supposés de l'ordre de 15 % jusqu'en 2010 puis en décroissance selon une courbe en S, faute de communication plus précise, et en légère décroissance depuis 2009.

#### *Fin de vie*

En 2022	Agroalimentaire	Entrepôts	Industrie chimique	Industrie pharmaceutique	Industrie caoutchouc	Patinoires	Tanks à lait
Facteur d'émission de fin de vie	5 %	10 %	5 %	5 %	10 %	20 %	30 %

#### *Industrie agroalimentaire*

Sur la base des hypothèses des anciennes études d'inventaires [207], le début de la récupération en fin de vie est pris en compte à partir de 1993, pour atteindre 80 % en 2005 et 95 % en 2013, en considérant que la majorité des installations sont classées ICPE (Installations Classées Pour l'Environnement).

#### *Entrepôts*

Sur la base des hypothèses des anciennes études d'inventaires [207], le début de la récupération en fin de vie est pris en compte à partir de 1993, pour atteindre 70 % en 2005 et 80 % en 2013, et 90 % en 2020.

#### *Procédés industriels*

Dans ce secteur, les entreprises sont classées ICPE (Installations Classées Pour l'Environnement) et les installations sont entretenues de façon très stricte, ce qui explique les taux d'émissions de fin de vie particulièrement bas, considérés de 5 % depuis 2013.

#### *Patinoires et tanks à lait*

Dans ces secteurs, il est considéré qu'une part du parc d'installations n'est pas entretenu, ce qui pénalise le facteur moyen d'émission en fin de vie des équipements.

#### *Climatisation stationnaire*

#### *Structure du secteur*

La structure de ce secteur est basée sur celle des données statistiques disponibles. La structure donnée 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 (>17,5kW).

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) ;
- Systèmes splits centralisés (large split system) ;
- Roof tops ;
- Armoires spéciales (cabinets).

#### Chillers

Le secteur est décomposé en quatre types de groupes refroidisseurs d'eau, distincts par leurs technologies de compresseurs et niveaux de puissance. Il existe d'une part les compresseurs centrifuges et, d'autre part, les compresseurs volumétriques qui sont divisés en 3 sous-groupes en fonction de la puissance :

- A compresseurs volumétriques
  - De petite puissance (< 50 kW) ;
  - De moyenne puissance (50 < P < 350 kW) ;
  - De forte puissance (> 350 kW) ;
- A compresseurs centrifuges

#### 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-charge)	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			
HEAT PUMPS	Cabinets			
	Air-to-water heat pumps			
	Water-to-water heat pumps			
	Ground-to-water heat pumps			
	Ground-to-ground heat pumps			
	Heat pump water heaters			

## Modes de maintenance

Au même titre que la charge, la maintenance nécessaire pendant la durée de vie des climatisations dépend du type d'équipement mis en place. Il n'y a pas de maintenance annuelle pour ces équipements qui subissent une opération de maintenance dès lors que la quantité de fluide réfrigérant contenue est en deçà d'un certain seuil. Par ailleurs, ces équipements ne nécessitent pas de décharge 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%
	Cabinets	selon seuil	70%
HEAT PUMPS	Air-to-water heat pumps	selon seuil	90%
	Water-to-water heat pumps	selon seuil	90%
	Ground-to-water heat pumps	selon seuil	90%
	Ground-to-ground heat pumps	selon seuil	90%
	Heat pump water heaters	selon seuil	10%

### Durée de vie moyenne

La durée de vie moyenne des équipements provient des rapports d'inventaire d'émissions de fluides frigorigènes [207]. Celle-ci va 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

Pour la plupart des équipements, les marchés détaillés par gamme de puissance et par type de fluide frigorigène utilisé sont transmis par la fédération de fabricants Uniclimate au Citepa, de façon confidentielle, chaque année depuis 2018.

Les marchés historiques (avant 2000) ont été reconstitués à partir :

- Des anciens rapports d'inventaire de fluides frigorigènes (édition 1999 notamment) pour la période 1993 - 1999 [207] ;
- D'hypothèses sur les taux de croissance par équipement avant 1993 ;
- D'informations des fabricants sur le début de mise sur le marché en France de certains équipements (notamment DRV et Rooftop).

Les données de marchés par équipements ont été communiquées par Uniclimate [1129] pour les années les plus récentes (à partir de 2000 pour la majorité des équipements). 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.

Dans le cadre de cette édition d'inventaire, l'évolution du marché des climatiseurs mobiles a été revue depuis 2010, sur la base de la donnée confidentielle du marché 2022 transmise par le Gifam. Cela conduit à une augmentation du marché 2020 d'un facteur 6. Cela aura cependant peu d'impact sur les émissions étant donné les faibles charges de ces équipements et le passage aux hydrocarbures, progressivement de 2016 à 2020.

## Chillers (ou groupes refroidisseurs à eau)

Chaque année, Uniclimate communique au Citepa, de façon confidentielle, les marchés des chillers à compresseur volumétrique (condensation à eau, condensation à air et condensation par ventilateur centrifuge) par gamme de puissance ( $P < 7$  kW ;  $7 < P < 17,5$  kW ;  $17,5 < P < 50$  kW ;  $51 < P < 100$  kW ;  $101 < P < 200$  kW ;  $201 < P < 350$  kW ;  $351 < P < 500$  kW ;  $501 < P < 700$  kW ;  $701 < P < 900$  kW ;  $P > 900$  kW) et par type de fluide frigorigène, ce qui permet d'avoir des informations fines sur ce parc d'équipements en France.

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).

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 3 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

Il est supposé que le marché des PAC a démarré en 1996. Les marchés historiques, avant 2002, proviennent de deux sources :

- De l'association française pour la pompe à chaleur [1131] ;
- Des rapports d'inventaires de fluides frigorigènes [207] ;

Avant 2002, l'AFPAC communique les marchés agrégés des PAC Air/Eau et géothermie. La répartition de 2002 entre PAC Air/Eau et PAC géothermique a été utilisée pour estimer ces marchés. Cette répartition est d'environ un tiers de PAC Air/Eau et deux tiers de PAC géothermique. A l'intérieur de la catégorie PAC géothermique, la répartition des marchés entre PAC Sol/Eau, PAC Eau/Eau et PAC Sol/Sol a été estimée sur la base des informations indiquées dans les rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [207].

A partir de 2002, l'AFPAC distingue les marchés des PAC Air/Eau des marchés des PAC géothermiques.

Les marchés totaux des PAC Air/Eau proviennent donc directement des données de l'AFPAC jusqu'en 2013 où les marchés sont communiqués par 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 proviennent des rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [207].

Remarque : les charges moyennes estimées sont incluses dans l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 0,5 kg et 100 kg).

- A partir de ratio de charge :

Quand le marché d'équipements est connu par gamme de puissance, il peut être plus précis d'utiliser un ratio de charge. Le ratio de charge représente la quantité de fluides frigorigènes (kg) 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 réfrigérants

pour les 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.

$$\text{Charge moyenne}(i) = \sum_{i=1}^n \text{Marché}_{(i)} * \text{Ratio de charge}_{(i)} * \text{Puissance}(i) / \text{Puissance totale}$$

Les marchés disponibles par gamme de puissance utilisés pour les différents équipements sont communiqués par Uniclina 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 un fabricant d'équipement, 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 utilisant 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

Les transitions CFC vers HCFC puis HCFC vers HFC ont été prises en compte en fonction des informations sur la répartition des réfrigérants entre 1970 et 1990 sont issues d'un expert : une répartition 50%/50% 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 ;

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.

Pour les années récentes, les données de réfrigérant ont été communiquées par Uniclimate [1129] (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

Pour les chillers à compresseur volumétrique forte puissance ( $P > 350$  kW), les informations sur la répartition des réfrigérants proviennent du rapport RTOC 1998 qui indique que la part du R-134a est équivalente à celle du R-22. Il a été supposé que l'année du démarrage du R-134a est 1995. Pour les chillers à compresseur volumétrique de faible et moyenne puissance, les données entre 1970 et 1990 sont issues d'avis d'expert : une répartition moitié/moitié est considérée en 1970 entre le R-12 et le R-22, 20%/80% en 1980 respectivement pour le R-12 et le R-22, et l'intégralité du marché des nouveaux équipements au R-22 est considérée à partir de 1990. Pour les compresseurs centrifuge, les données sont tirées des résultats inventaires de fluides frigorigènes (répartition 70%/30% respectivement entre le R-12 et le R-11 de 1970 à 1985 puis apparition du R-22 toutefois mineure à environ 10%).

L'arrêt d'utilisation du R-22 dans les équipements de climatisation est lié à la 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 années récentes, 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).

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

Le R-22 a été exclusivement utilisé dans les pompes à chaleur avant les années 2000. La réglementation n° 2037/2000 interdit la production d'équipement au R-22 à partir du 1er janvier 2004 pour les PAC. Pour toutes les PAC, il a été supposé un arrêt sur deux ans à partir de 2002 et que le R-22 n'est plus utilisé depuis 2004 dans les nouveaux équipements mis sur le marché.

Pour les années récentes, les données sur les réfrigérants 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 avoir été utilisé, d'après les rapports d'inventaire de fluides frigorigènes, jusqu'en 2018. Depuis le R-290 et le R-450A ont été progressivement introduits sur le marché et remplacent en 2022 le R-134a dans les nouvelles installations.

## Facteurs d'émission

### Charge

Pour estimer les facteurs d'émission à la charge, on distingue si les équipements sont chargés d'usine ou sont chargés sur site.

Les facteurs d'émission à la charge sont supposés évoluer selon une courbe en S. Celle-ci a été modélisée pour les deux modes de charges à partir d'une valeur seuil à atteindre à l'horizon 2015 afin de prendre en compte l'amélioration continue des pratiques et 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 GEREP.

Remarque : les facteurs d'émission calculés montrent des valeurs supérieures à l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 0,2% et 1%).

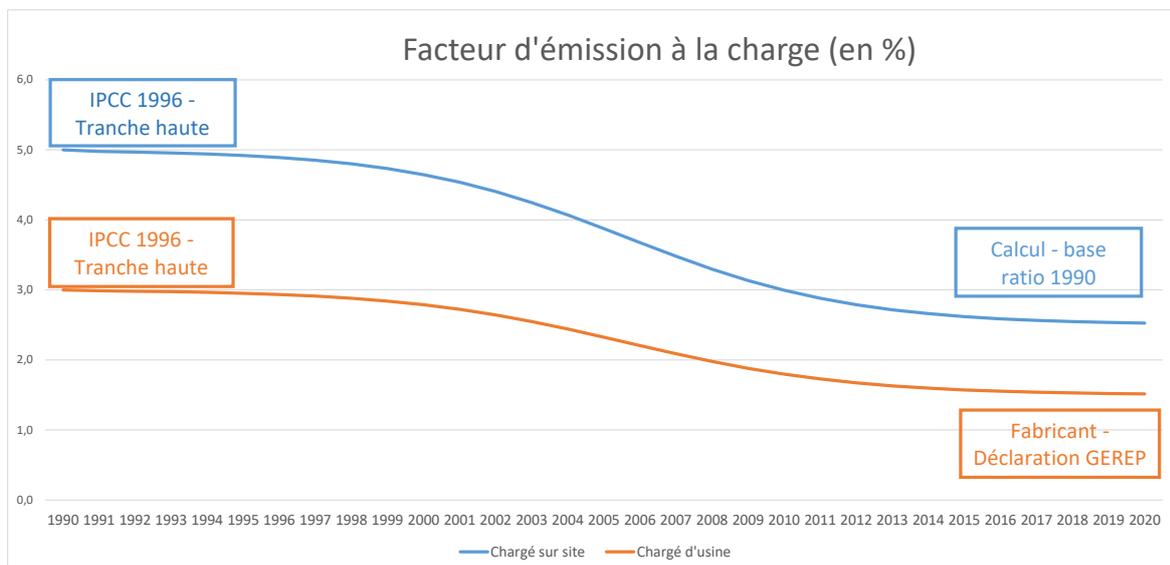


Figure 2F1- 17 - Facteur d'émission à la charge (en %)

## Fugitif

Les taux d'émission pendant le fonctionnement de l'équipement sont également 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 : 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%).

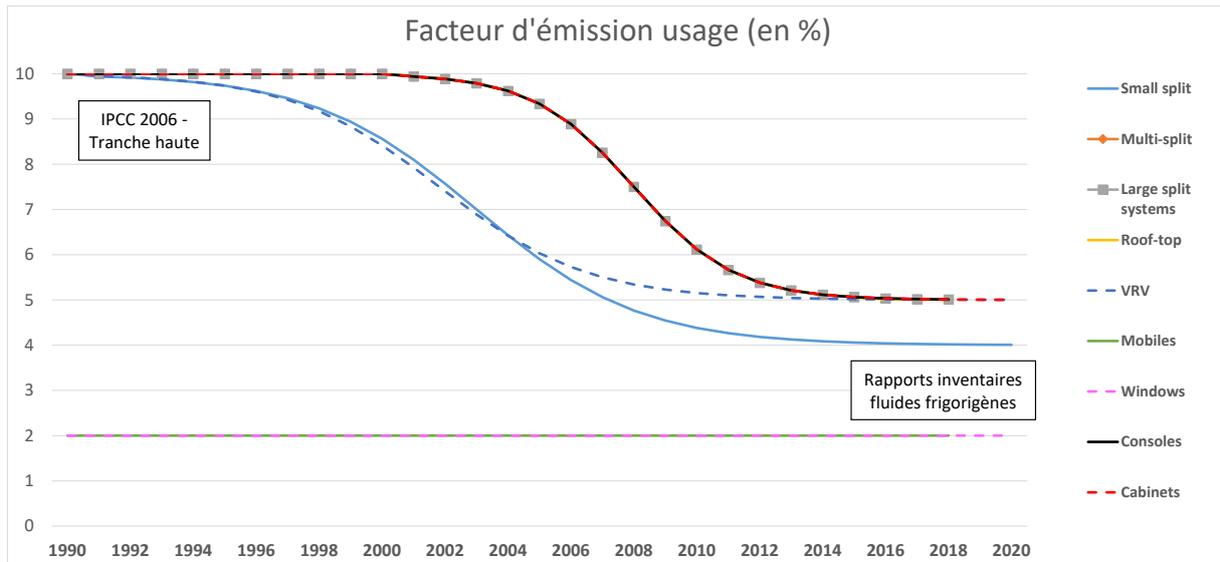


Figure 2F1- 18 - Facteur d'émission pendant la durée de vie - climatisation fixe (en %)

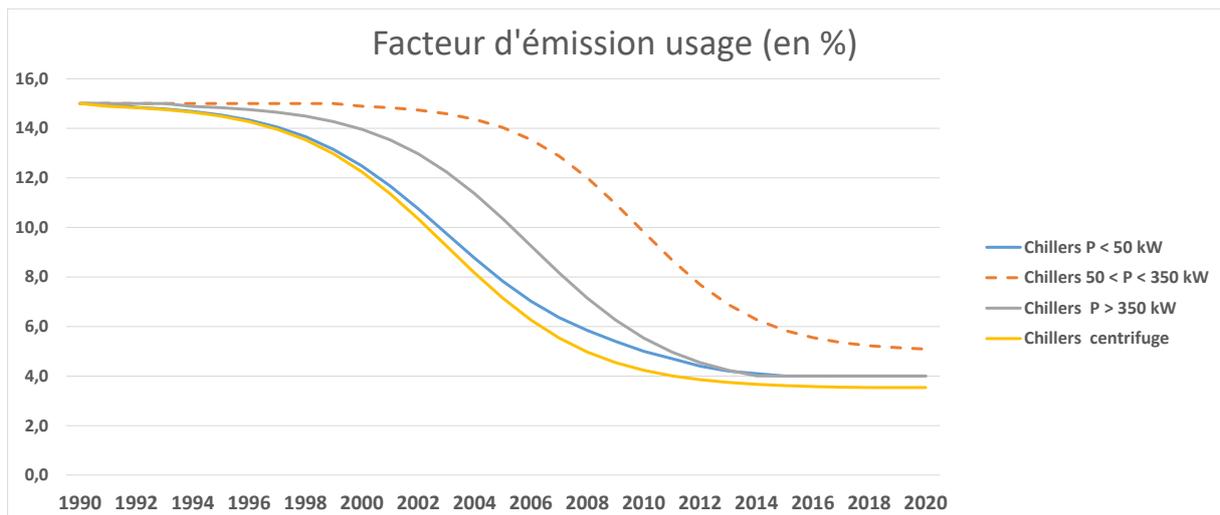


Figure 2F1- 19 - Facteur d'émission pendant la durée de vie - chillers (en %)

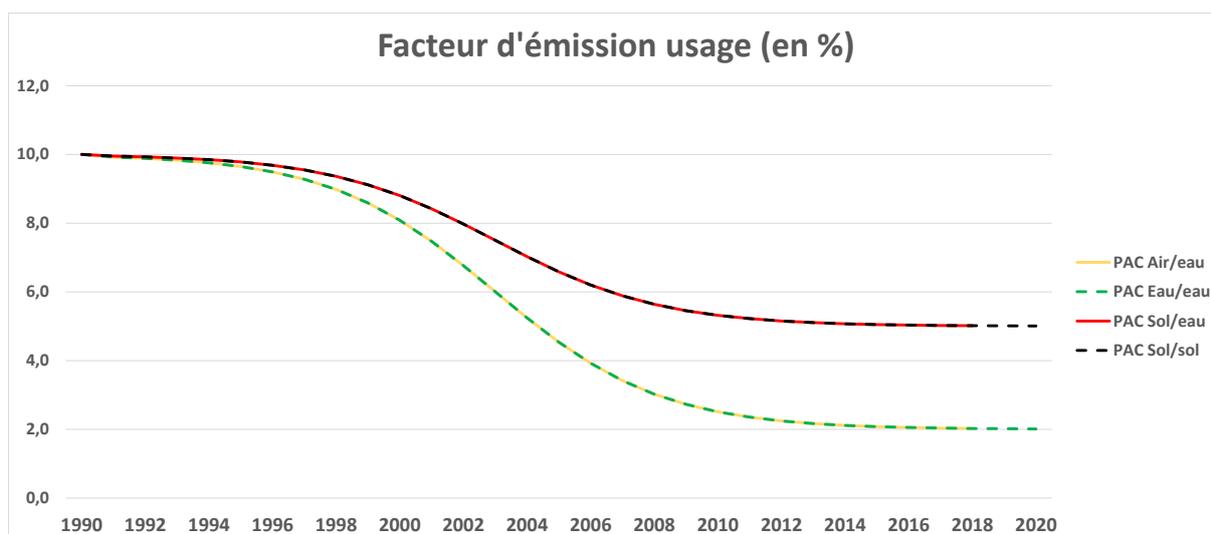


Figure 2F1- 20 - Facteur d'émission pendant la durée de vie - pompe à chaleur (en %)

## 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

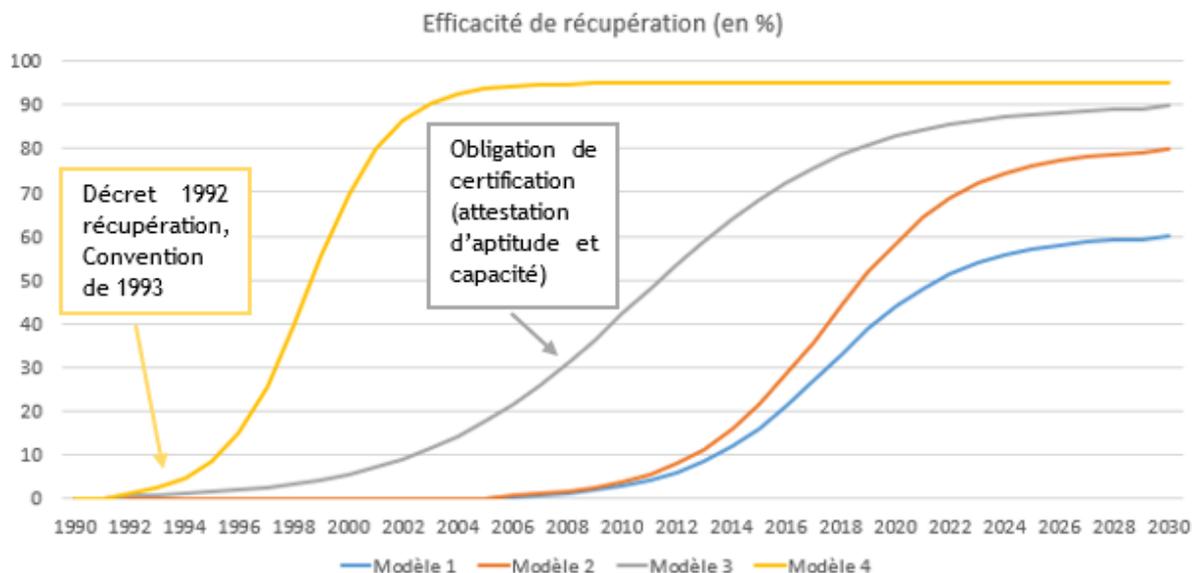


Figure 2F1- 21 - Efficacité de récupération (en %)

## 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 m<sup>2</sup>.
- Les supermarchés regroupent les commerces de détail non spécialisés à prédominance alimentaire en magasin d'une surface de vente comprises entre 400 m<sup>2</sup> à 2 500 m<sup>2</sup>.
- 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.

Dans les années 60, au début des implantations des supermarchés, chaque poste de froid était équipé de son propre groupe frigorifique. Avec le succès croissant de ces commerces, l'implantation des grandes surfaces s'accéléra et la recherche de rentabilité fit apparaître le concept de « production frigorifique centralisée ». Ce type d'installation consiste à regrouper, dans une même salle de machines, plusieurs compresseurs raccordés sur un collecteur commun d'aspiration et un collecteur commun de refoulement. On trouve dans cette salle de machines, 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 en ce qui concerne 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 300kg, 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/m<sup>2</sup> que l'on associe aux nouvelles surfaces d'hypermarchés en France en considérant un renouvellement de 15 ans des équipements.

Afin de reconstituer l'évolution du parc depuis 1970, plusieurs sources de données ont été considérées. Entre 1970 et 1980, diverses sources sont prises en compte et notamment une communication du groupe Nielsen [1119]. Entre 1980 et 2004 le parc utilisé dans l'inventaire reflète les données publiées par l'INSEE [1120], [1121], [1122], [1123]. Pour les données plus récentes (depuis 2007), le parc d'hypermarchés est construit à partir de la base de données de l'ACOSS, la caisse nationale des URSSAF recensant entre autres les différents types de commerces alimentaires de détail par code NAF [1124]. Les années manquantes pour lesquelles les informations sont indisponibles, sont estimées par interpolation.

#### Supermarchés

La méthode de calcul des quantités de fluides utilisés dans les supermarchés et similaire à celle présentée pour les hypermarchés.

Entre 1970 et 1992, le parc est reconstitué à l'aide des mêmes sources. Entre 1994 et 2016, les inventaires des Mines sont utilisés comme référence [207]. Enfin, le parc de supermarchés considéré en 2018 est issu d'une communication avec le LSA [1125], et celui de 2019 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].

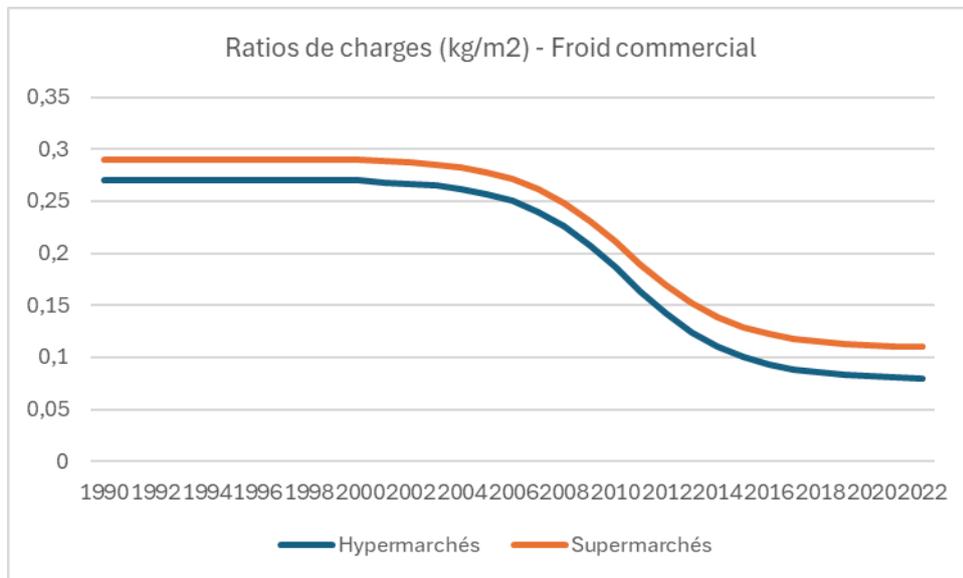
### Productions

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 quantité par unité de surface ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ). Ces ratios ont été estimés à partir d'enquêtes de terrain et d'avis d'experts, incluant progressivement la réduction des charges via notamment l'introduction des systèmes indirects [207]. La courbe a été lissée, sur l'historique, avec un modèle de courbe en S

#### Ratios de charge surfacique en super et hypermarchés



Charge de référence ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	Avant 2000	2022
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	2022
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. Ces derniers ayant des valeurs de PRG élevées, ils sont amenés à être remplacés par les HFO, des HFC à plus bas PRG, ou par d'autres fluides frigorigènes non fluorés ayant un faible impact sur le climat.

### Hypermarchés

Entre 1970 et 1978, l'hypothèse est faite que les installations frigorifiques centralisées des hypermarchés utilisaient principalement le R-22 (entre 70% et 80%) et le R-12 (entre 20% et 30%). A partir du début des années 90, on considère que le R-22 constituait l'unique fluide utilisé dans les installations frigorifiques des hypermarchés. On estime qu'à partir du Plan Climat Européen de 1992, la part du HCFC-22 diminue au profit de mélanges de transition tels que le R-408A, puis majoritairement vers les HFC à fort PRG, le R-404A et le R-507 (qui restera minoritaire, pour des questions principalement commerciales). A partir de 2008 et le début de l'introduction des systèmes de type cascade, notamment R-134a/CO<sub>2</sub>, 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).

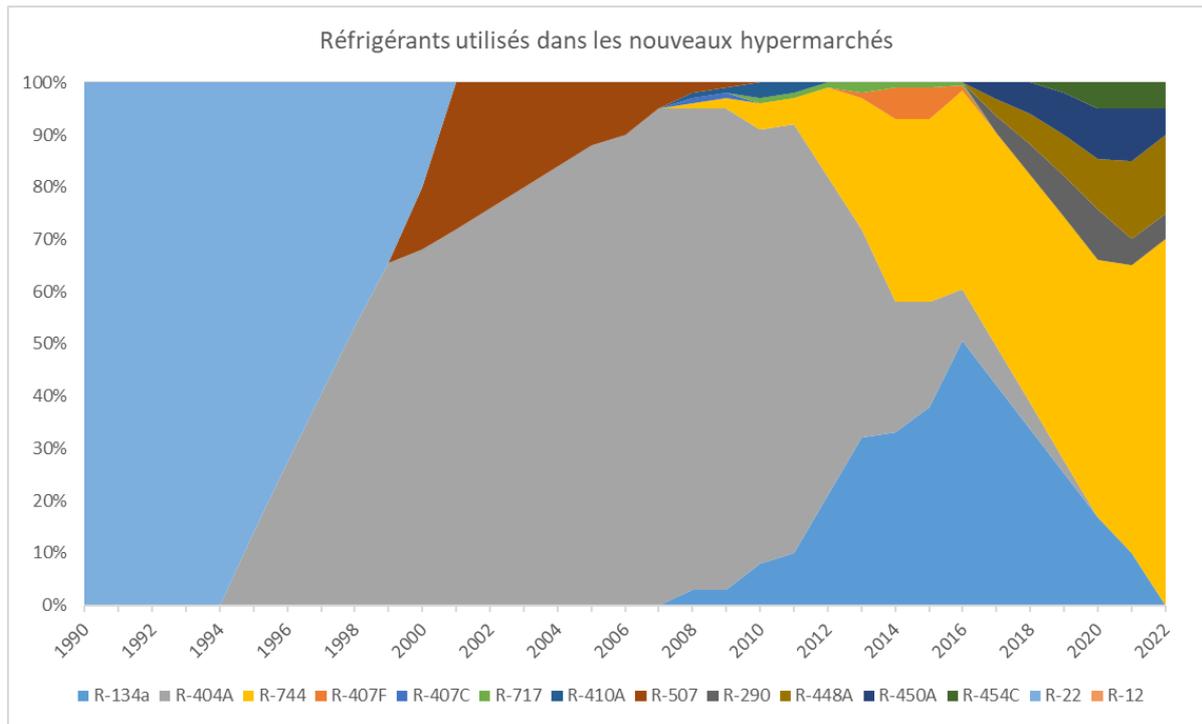


Figure 2F1-22 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés en hypermarchés

### Supermarchés

A partir des années 1970 et jusqu'au milieu des années 1990, l'hypothèse retenue considère 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 remplacement 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 faibles 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.

## Evolution des fluides frigorigènes utilisés en supermarchés

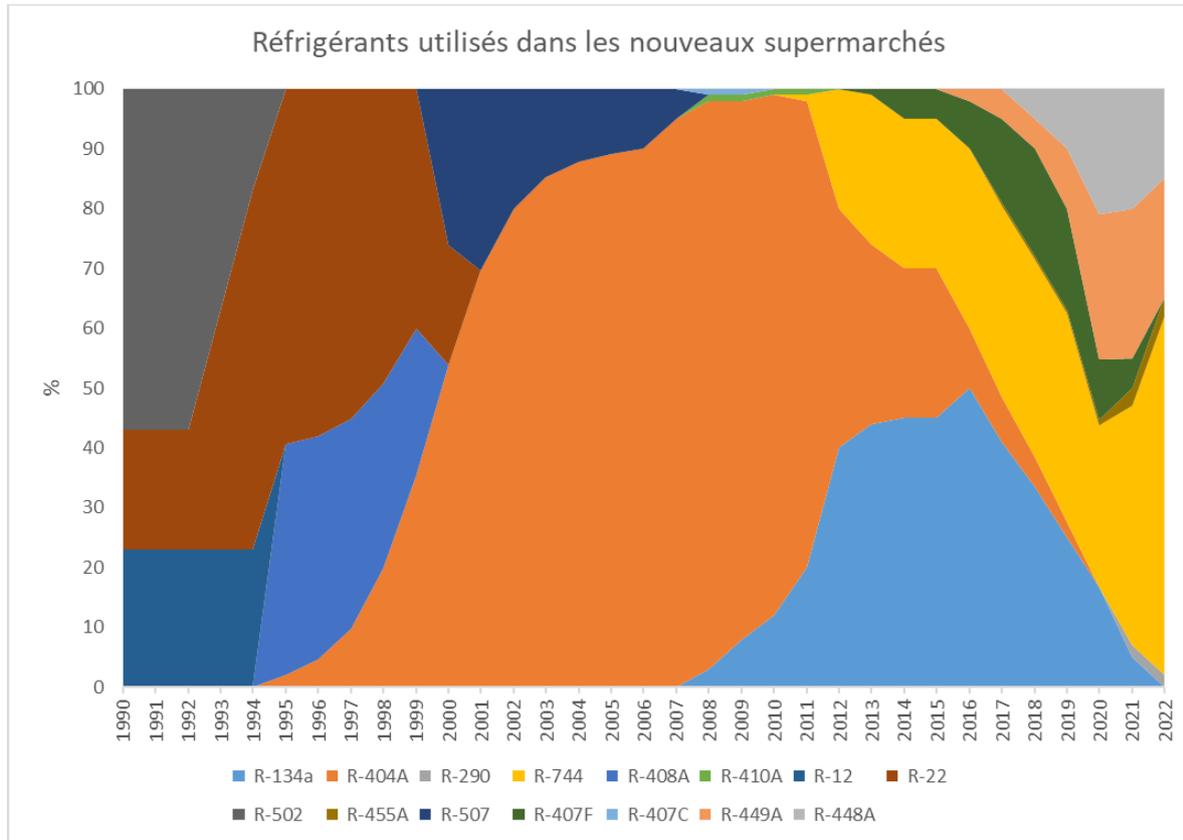


Figure 2F1-23 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés en supermarchés

## 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.

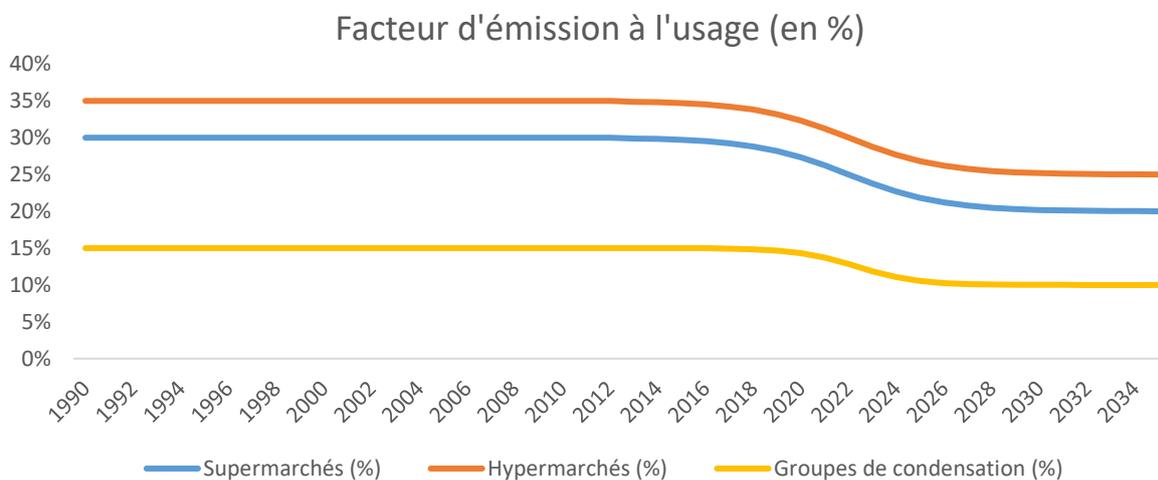
### Facteurs d'émission

Le règlement F-Gas et la mise en place du phasedown imposant des quantités limitées de HFC, en tonnes de CO<sub>2</sub> équivalentes sur le marché européen, ont conduit à une pénurie des HFC de PRG élevé tels que le R-404A fortement utilisé en froid commercial. Cela a conduit à une surveillance accrue des fuites et à une amélioration de la récupération à la maintenance et en fin de vie des équipements car une partie des réfrigérants récupérés est utilisée en recyclage direct par les opérateurs. Par conséquent, la diminution des taux d'émissions s'accroît depuis quelques années, en particulier dans le secteur du froid commercial marqué par les limitations d'usage du R-404A aux échéances 2020 et 2022.

### 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



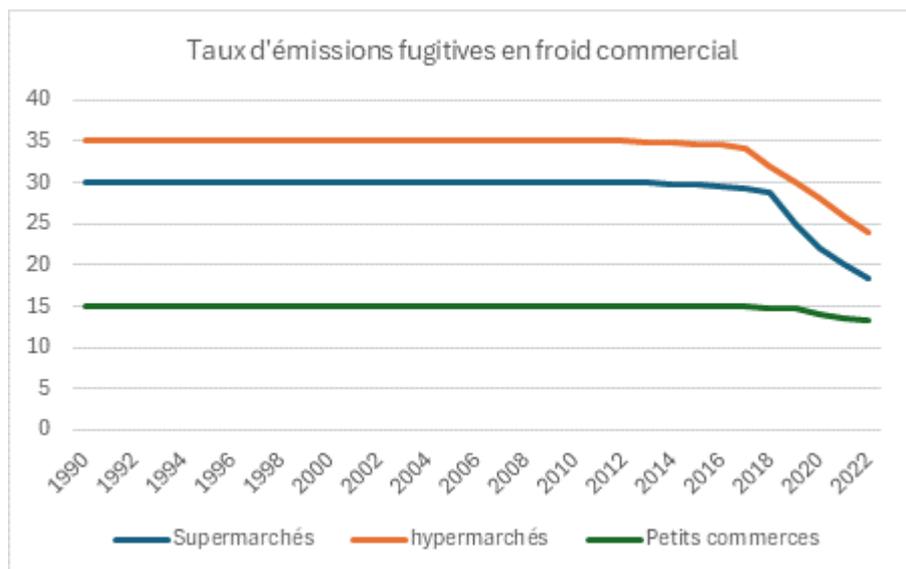


Figure 2F1-24 - Evolution des facteurs d'émissions fugitives en froid commercial

### 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 (2013-2016). Pour les années antérieures à 2013, on estime un taux d'émission fugitif constant de 35%. Au-delà, on considère l'hypothèse d'une diminution de ce taux d'émission à hauteur de 24% en 2022 [1127]. 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 de la courbe des taux d'émission fugitifs pour le sous-secteur des supermarchés est similaire à celle des hypermarchés. Avant 2013, on estime un taux constant de 30%. Au-delà, on considère une diminution de ce taux d'émission à hauteur de 18% en 2022 [1127]. Concernant les années intermédiaires, on estime ce taux par interpolation.

### Groupes hermétiques

Le taux d'émission fugitif associé aux groupes de condensation est considéré constant à 1% sur toute la série temporelle, afin de prendre en compte les pertes accidentelles, le système étant hermétique.

### Groupes de condensation

Pour les années antérieures à 2017, on considère un taux d'émission fugitif constant de 15%. Au-delà on construit une courbe de réduction en S qui pose l'hypothèse d'une diminution de ce taux à 10% en 2035. Le niveau 2022 est ainsi estimé à 13%.

### Fin de vie

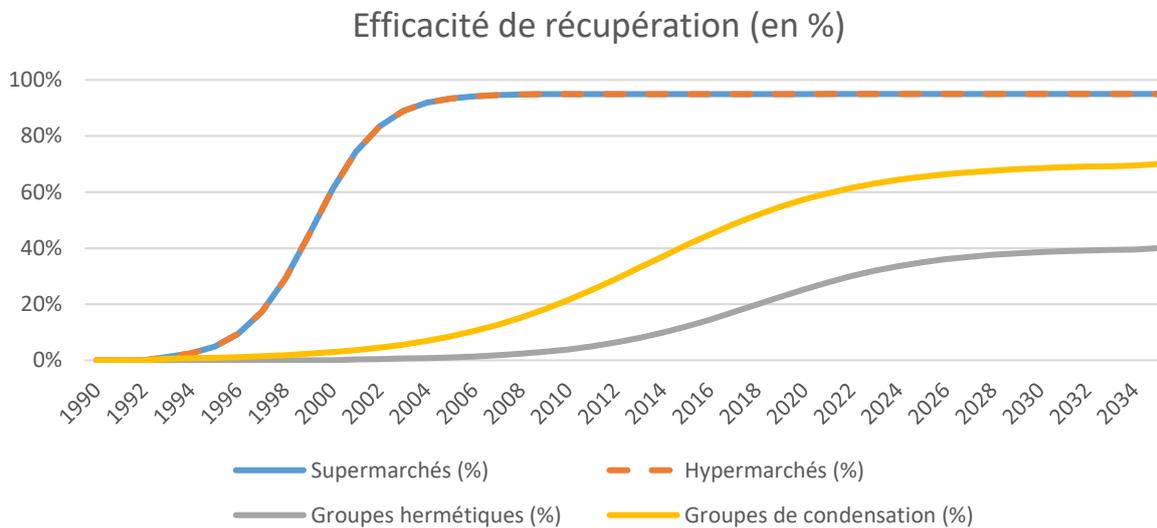
Les émissions en fin de vie des équipements dépendent des quantités présentes dans l'équipement quand il atteint sa fin de vie et d'un facteur d'émission fin de vie traduisant l'efficacité des filières de récupération. A noter, dans le cadre de l'amélioration de la méthode de calcul, la charge réelle de l'équipement est calculée au cours de sa durée de vie, tenant compte des occurrences de maintenance, permettant de ne pas surestimer les émissions de fin de vie, la charge de fin de vie tenant compte des émissions fugitives d'étant produites les années précédentes.

Concernant le secteur du froid commercial, ces facteurs ont été estimés avec un modèle de courbe en S comportant une année de démarrage de la récupération et une année asymptotique projetée en 2035.

Pour les hypermarchés et supermarchés, on considère une récupération nulle jusqu'en 1992 et un maximum supposé en 2035 à hauteur de 95%. En 2022, 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 2022, on estime le taux à de 50%.

Enfin, pour les groupes hermétiques, on estime une récupération nulle jusqu'en 2000 et un maximum supposé en 2035 à hauteur de 40%. En 2022, on estime le taux de récupération à près de 30%.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
11/02/2024	RB	14/02/2024	JV

## AGENTS D'EXPANSION DES MOUSSES

Les HFC sont utilisés en tant qu'agent d'expansion dans les mousses d'isolation pour diverses applications.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.F.2
CEE-NU / NFR	Hors champs
SNAPc (extension CITEPA)	06.05.04
CE / directive IED	Hors champs
CE / E-PRTR	Hors champs
CE / directive GIC	Hors champs

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production et consommation nationale estimée par secteur	Spécifique au pays et provenant des lignes directrices du GIEC 2006

### Niveau de méthode :

Rang 2a.

### Références utilisées :

[19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[520] EReIE - Inventaires d'émissions de gaz fluorés dans le secteur d'activité des mousses d'isolation - décembre 2012

[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

### Caractéristiques de la catégorie :

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 considérées : 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 tels que les volants ou les boîtes de vitesse).

Différents types de HFC sont utilisés en fonction du secteur d'application et de la famille de mousse. Le tableau suivant récapitule les agents d'expansion par secteur en France, les bâtiments incluant les mousses alvéolaires de type polystyrène extrudé et polyuréthane (SPF et panneau sandwich) :

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 <sub>2</sub>		x				

A partir de 2009, il n'y a plus d'émission de HFC associée aux mousses OCF après l'interdiction de mise sur le marché des HFC dans ce type d'application par le règlement n° 842/2006/CE relatif aux gaz fluorés.

Les émissions de HFC 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 fluides de 4<sup>ème</sup> génération, appelés HFC à bas PRG ou HFO, sont utilisés depuis peu dans ce secteur en remplacement des HFC. Les ventes de HFC à fort PRG (HFC-245fa et mélange HFC-365mfc/HFC-227ea) utilisés dans les applications autres que les mousses en polystyrène extrudé (XPS) sont en baisse depuis 2018, engendrées par 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 des HFC d'un PRG supérieur ou égal à 150 utilisés dans les mousses en polystyrène extrudé depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2020 explique l'arrêt de l'utilisation du HFC-134a dans cette application en France depuis 2018.

## Méthode d'estimation des émissions de GES :

### **Emissions de Gaz fluorés**

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 mousses d'isolation ont des propriétés différentes selon qu'elles sont à cellules ouvertes ou à cellules fermées et selon le procédé de mise en œuvre.

#### Mousses à alvéoles ouvertes

L'intégralité des émissions de HFC utilisés se produit pendant le procédé de fabrication (mousse à peau intégrée PU) ou l'utilisation (OCF). Ainsi, le facteur d'émission utilisé est de 100%.

##### ➤ Mousse à peau intégrée

Les consommations et les émissions de HFC sont obtenues à partir des déclarations annuelles des producteurs [19].

##### ➤ OCF

Les ventes de 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-eaux

Du HFC-245fa est utilisé dans les chauffe-eaux depuis 2000. Ce HFC n'est pratiquement plus utilisé depuis 2016, remplacé par le pentane et à un degré moindre par le HFC-1234ze. Le GIFAM (Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'Appareils d'équipements Ménager)

recense les ventes de chauffe-eaux en France. La majorité des produits vendus en France est fabriquée en France et il est considéré que les importations compensent les exportations. Le GIFAM a réalisé une enquête auprès de ses membres pour connaître le type d'agent d'expansion utilisé ainsi que la quantité de HFC par appareil depuis 2000 [692]. Les quantités de HFC consommés par les fabricants sont calculées en fonction du nombre de chauffe-eaux vendus, du type d'agent d'expansion et de la quantité de HFC injecté par appareil. Les émissions de fin de vie apparaissent à partir de 2015 où il est considéré que les HFC contenu dans les mousses des équipements ne sont pas récupérés.

Les émissions à la charge, pendant la durée de vie et en fin de vie, sont ensuite estimées à l'aide des facteurs d'émission des lignes directrices du GIEC 2006 [691].

#### ➤ Bâtiments

Les panneaux de mousse de polyuréthane rigide pour l'isolation thermique des bâtiments, dont les principaux producteurs en France sont représentés au sein du Syndicat National des Polyuréthanes (SNPU) ne consomment pas de HFC comme agent gonflant.

Les mousses XPS utilisent du HFC-134a et du HFC-152a. Elles sont utilisées comme isolant thermique dans le bâtiment. Il existe en France deux sites de production de XPS expansé au HFC-134a et HFC-152a. Les facteurs d'émission associés sont spécifiques à ces entreprises et les émissions proviennent des déclarations annuelles des producteurs [19].

Le marché national des mousses a été estimé par le Citepa à l'aide des données des fabricants de XPS en France. Les importations de XPS en France contenant des gaz fluorés sont également prises en compte dans les calculs. Les facteurs d'émission, pendant la durée de vie des XPS, sont tirés des lignes directrices du GIEC 2006 [691].

#### ➤ Transport frigorifique

Les productions nationales ne sont pas connues précisément. Elles sont estimées à partir des ventes des producteurs de chaque HFC en France. La France est un grand exportateur de véhicules frigorifiques, il est considéré que 75% des productions sont exportées [520]. Les facteurs d'émission des lignes directrices du GIEC 2006 à la charge et pendant la durée de vie de l'équipement sont utilisés pour estimer les émissions [691].

#### 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.

#### ***Emissions de CO<sub>2</sub>***

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

#### ***Emissions de CH<sub>4</sub>***

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

#### ***Emissions de N<sub>2</sub>O***

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
17/01/2024	VM	14/02/2024	JV

## EXTINCTEURS D'INCENDIE

Pour des applications spécifiques comme la protection des salles contenant des systèmes informatiques, une catégorie d'extincteurs utilise des HFC dont les propriétés permettent une action rapide et sans nocivité.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.F.3
CEE-NU / NFR	Hors champs
SNAPc (extension CITEPA)	06.05.05
CE / directive IED	Hors champs
CE / E-PRTR	Hors champs
CE / directive GIC	Hors champs

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Vente annuelle et banque cumulée	National

### Niveau de méthode :

Rang 1a avec FE spécifiques au pays.

### Références utilisées :

[209] GIFEX - communication de données internes

[688] ADEME - Observatoire des Fluides Frigorigènes

[693] Siemens - informations sur le taux d'émission de HFC lors du recyclage

### Caractéristiques de la catégorie :

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 vendus 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 comprenant le recyclage.

### Méthode d'estimation des émissions de GES :

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Les émissions sont estimées par application en différenciant les émissions à la production, pendant la durée de vie de l'équipement et en fin de vie. Les sociétés de vente et

d'installations d'extincteurs ont mis en place depuis 2000 un programme d'amélioration ayant pour objectif de réduire les taux d'émissions. Les HFC utilisés sont le HFC-227ea en grande majorité (98%) et le HFC-23 à hauteur de 2% [209]. Le HFC-23 n'est plus mis sur le marché depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2016 à la suite de l'application du règlement n° 517/2014. Néanmoins, le HFC-23 a pu être récupéré sur des équipements en fin de vie ou en maintenance, puis être recyclé avant réintégration dans de nouveaux équipements. Ainsi, il apparaissait encore une (très faible) part de nouveaux équipements contenant du HFC-23 jusqu'en 2018 [688]. Toutefois, plus aucun nouvel équipement mis en service ne consomme ce gaz depuis 2019 [688].

#### Emissions à la production

Les ventes nationales sont transmises par le GIFEX (Groupement des fabricants installateurs de systèmes d'extinction automatiques fixes) jusqu'en 2010. A partir de 2013, les données proviennent de l'Observatoire des Fluides Frigorigènes de l'ADEME (OFF) [688] qui recense les quantités de HFC acquises et mises sur le marché par type de HFC. Les années 2011 et 2012 ont été déduites par linéarisation des ventes de 2010 et 2013. Le facteur d'émission national [209] évolue de 2000 à 2010 pour tenir compte du programme d'amélioration des installateurs de réduire les taux d'émissions.

#### Emissions pendant la durée de vie des équipements

Les ventes nationales sont transmises par le GIFEX (Groupement des fabricants installateurs de systèmes d'extinction automatiques fixes) jusqu'en 2010. A partir de 2013, les données proviennent de l'Observatoire des Fluides Frigorigènes de l'ADEME (OFF) [688] qui recense les quantités de HFC acquises et mises sur le marché par type de HFC. Le facteur d'émission national [209], correspondant à un taux de fuite accidentelle et un taux d'émission à la suite 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.

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
06/01/2023	RB	29/01/2023	JV

## AEROSOLS

Les HFC peuvent être utilisés comme agent propulseur dans les aérosols.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.F.4
CEE-NU / NFR	Hors champs
SNAPc (extension CITEPA)	06.05.06
CE / directive IED	Hors champs
CE / E-PRTR	Hors champs
CE / directive GIC	Hors champs

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production et vente annuelle	Facteur d'émission national pour la production et usage totalement émissif

### Niveau de méthode :

Rang 2a.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [210] CFA - Comité Français des Aérosols - communication annuelle de données internes
- [521] GSK - GlaxoSmithKline - communication annuelle de données internes
- [1021] Inventec - communication téléphonique du 02/10/2019

### Caractéristiques de la catégorie :

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.

## Méthode d'estimation des émissions de GES :

### **Emissions de Gaz fluorés**

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<sup>er</sup> janvier 2018 suite à 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 substitué en majorité par le butane/propane en raison de son prix moins élevé que celui du HFC-1234ze bien que les consommations de ce dernier ne soient pas négligeables [1021].

#### Aérosols pharmaceutiques

Les émissions à la charge sont estimées à partir des déclarations des producteurs d'aérosols pharmaceutiques en France [19]. Un facteur d'émission national est utilisé et déduit à l'aide des quantités de HFC consommés et émises par les divers producteurs.

Le marché des aérosols pharmaceutiques en France métropolitaine est estimé annuellement par le plus important producteur français d'aérosols pharmaceutiques [521]. Les ventes dans les territoires d'Outre-mer UE et non UE sont déduites au prorata de la population. Les émissions sont calculées en fonction des ventes et de la charge de HFC par unité d'aérosols, estimé à 12 g de HFC/boitier [521]. Jusqu'en 2002 seul le HFC-134a est utilisé. A partir de 2003, le HFC-227ea est également employé comme propulseur (en quantité moindre) et la répartition de la consommation entre ces deux HFC est estimée en fonction de la production française.

A l'instar des aérosols techniques, l'usage des aérosols pharmaceutiques est totalement émissif et l'intégralité des HFC contenus dans les boîtiers est émise 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 élevé 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.

Les émissions en fin de vie sont nulles car elles sont supposées avoir lieu en totalité pendant la durée de fonctionnement de l'aérosol.

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

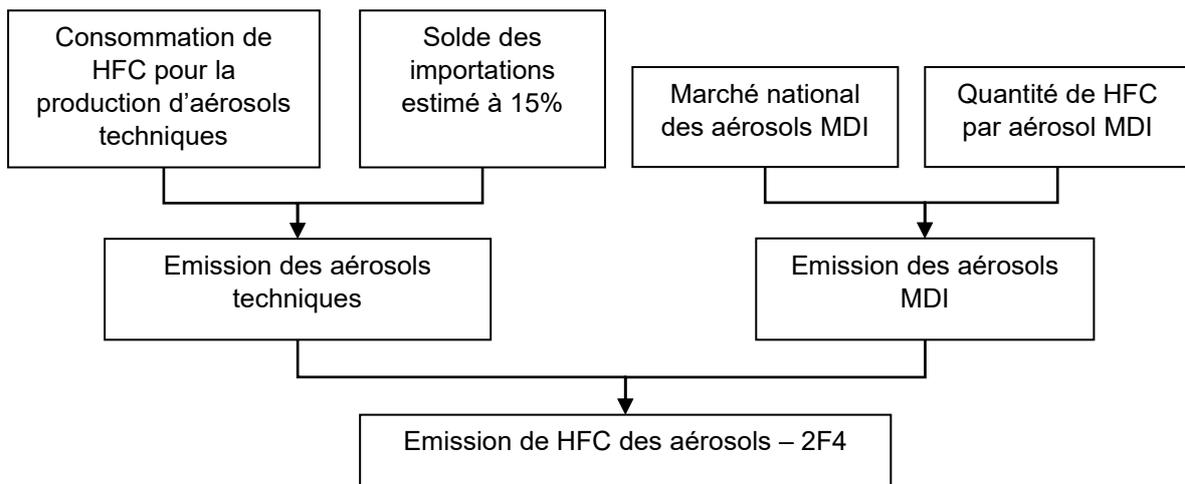
### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
08/02/2017	RB	20/02/2018	JV

## SOLVANTS

Des HFC peuvent être utilisés pour des applications spécifiques comme solvant.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.F.5
CEE-NU / NFR	Hors champs
SNAPc (extension CITEPA)	06.05.08 (partiel)
CE / directive IED	6.7
CE / E-PRTR	Hors champs
CE / directive GIC	Hors champs

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Vente annuelle	GIEC 2006

### Niveau de méthode :

Rang 1a.

### Références utilisées :

- [212] Promosol - Communication de données internes
- [648] F2 Chemicals - Communication de données internes
- [688] ADEME - Observatoire des Fluides Frigorigènes
- [694] DuPont - Communication annuelle de données internes
- [695] Solvay - Communication annuelle de données internes

### Caractéristiques de la catégorie :

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<sub>6</sub>F<sub>14</sub>, est également utilisé pour dissoudre les huiles et graisses fluorées.

## Méthode d'estimation des émissions de GES :

### ***Emissions de Gaz fluorés***

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] et d'hypothèses,
- Les ventes de C<sub>6</sub>F<sub>14</sub> 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.

### ***Emissions de CO<sub>2</sub>***

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

### ***Emissions de CH<sub>4</sub>***

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

### ***Emissions de N<sub>2</sub>O***

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
11/01/2023	RB	29/01/2023	JV

## EQUIPEMENTS ELECTRIQUES

Le SF<sub>6</sub> est utilisé dans les équipements électriques de haute et moyenne tension (disjoncteurs et interrupteurs).

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.G.1
CEE-NU / NFR	Hors champs
SNAPc (extension CITEPA)	06.05.07
CE / directive IED	Hors champs
CE / E-PRTR	Hors champs
CE / directive GIC	Hors champs

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Consommations annuelles de SF <sub>6</sub> par les producteurs d'équipements Quantité de SF <sub>6</sub> présente dans le réseau électrique français	Taux d'émissions spécifiques à la France

### Niveau de méthode :

Rang 2a.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [214] GIMELEC - syndicat des fabricants d'équipements électriques - communication annuelle de données internes
- [215] RTE - Réseau de Transport d'Electricité - rapport annuel « Développement Durable »
- [381] ERDF - Electricité Réseau Distribution France - rapport annuel « Développement Durable »
- [688] ADEME - Observatoire des Fluides Frigorigènes
- [696] Schneider Electric - taux de perte vidange du SF<sub>6</sub> des équipements en fin de vie
- [773] EDF - Electricité de France - rapport annuel « Développement Durable »
- [908] Données locales d'énergie (électricité) - [https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/donnees-locales-denergie/#\\_](https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/donnees-locales-denergie/#_)

### Caractéristiques de la catégorie :

Le SF<sub>6</sub> est utilisé comme diélectrique et agent de coupure dans les équipements de haute et moyenne tension du parc électrique français. Il existe plusieurs sites de production de ces équipements en France.

Les constructeurs d'équipements électriques via le GIMELEC et RTE se sont engagés en 2004, sur la base d'un volontariat, à maintenir à l'horizon 2010 le niveau d'émissions de SF<sub>6</sub> de 1995. Cet objectif a été atteint, les émissions ayant été divisées par plus de deux. Les facteurs d'émission à la charge et pendant la durée de l'équipement diminuent au fil des années même après 2010 et notamment chez les opérateurs électriques qui mettent en place plusieurs types d'actions (maintenance préventive, nouvelles techniques de colmatage, amélioration des techniques de détection des fuites

Enfin, des recherches sont en cours sur les alternatives au SF<sub>6</sub> dans ce domaine d'application.

Trois catégories d'émissions de SF<sub>6</sub> sont distinguées :

- Les émissions à la charge correspondant aux pertes à la charge de l'équipement,
- Les émissions pendant la durée de vie comprenant les fuites accidentelles et les fuites lors des opérations de maintenance,
- Les émissions en fin de vie des équipements.

A noter que la France est un exportateur net d'équipements électriques, par conséquent les quantités de SF<sub>6</sub> chargées dans les équipements électriques sont beaucoup plus importantes que la variation de la banque de SF<sub>6</sub> en France d'une année à l'autre pour cette application.

### Méthode d'estimation des émissions de GES :

#### **Emissions de Gaz fluorés**

##### Emissions à la charge

Chaque année le GIMELEC communique les quantités de SF<sub>6</sub> installées et les émissions associées déclarées par les producteurs d'équipements électriques [214]. A partir de 2014, les émissions de SF<sub>6</sub> proviennent des déclarations des industriels [19] et les consommations de SF<sub>6</sub> 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 à pendant la durée de vie des équipements

Les émissions de l'ensemble du réseau électrique sont estimées par Enedis (anciennement ErDF) [381] et RTE [215] à partir de 2008 et par EDF [773] à partir de 2010 puis déclarées annuellement dans leur rapport Développement Durable. RTE réalise des enquêtes pour déterminer la banque de SF<sub>6</sub> installée, les taux de fuites intrinsèques aux équipements et les taux de fuites à la maintenance. Pour les années antérieures, la quantité de SF<sub>6</sub> 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 SF<sub>6</sub> 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 7,7%) [908]. Ainsi, des émissions de SF<sub>6</sub> 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 SF<sub>6</sub> restant dans les équipements au moment du retrait est fournie par une entreprise qui traite le SF<sub>6</sub> en fin de vie dans le but de l'envoyer au recyclage ou en destruction [696]. Ainsi, selon l'industriel, les normes imposent que les enveloppes soient vidangées à des pressions inférieures à 20 mbar en pression absolue équivalent à une vidange au minimum à 98,7% pour des équipements classiques. Un taux de perte de 1,3% est donc appliqué aux quantités de SF<sub>6</sub> récupérées. Les émissions de SF<sub>6</sub> sont ainsi estimées à l'aide de ce taux d'émission et des quantités de SF<sub>6</sub> des équipements en fin de vie. Il convient de signaler qu'il y a très peu d'équipements en fin de vie et que la plupart du temps la durée de vie de l'équipement électrique est prolongée par une maintenance plus importante. De plus, les quantités de SF<sub>6</sub> présentes dans les équipements peuvent varier significativement. Par conséquent, les quantités de SF<sub>6</sub> récupérées dans les équipements électriques en fin de vie peuvent varier de manière non négligeable d'une année à l'autre.

Une fois récupéré, le SF<sub>6</sub> est soit incinéré, soit recyclé/régénéré. En France, il existe un site de recyclage/régénération du SF<sub>6</sub> et un site d'incinération des déchets dangereux qui traite ce gaz fluoré. Les émissions du site de recyclage/régénération sont traitées en section 2B9 et les émissions issues de l'incinération sont négligées compte tenu de l'efficacité du taux de destruction du SF<sub>6</sub> supérieure à 99,99%.

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

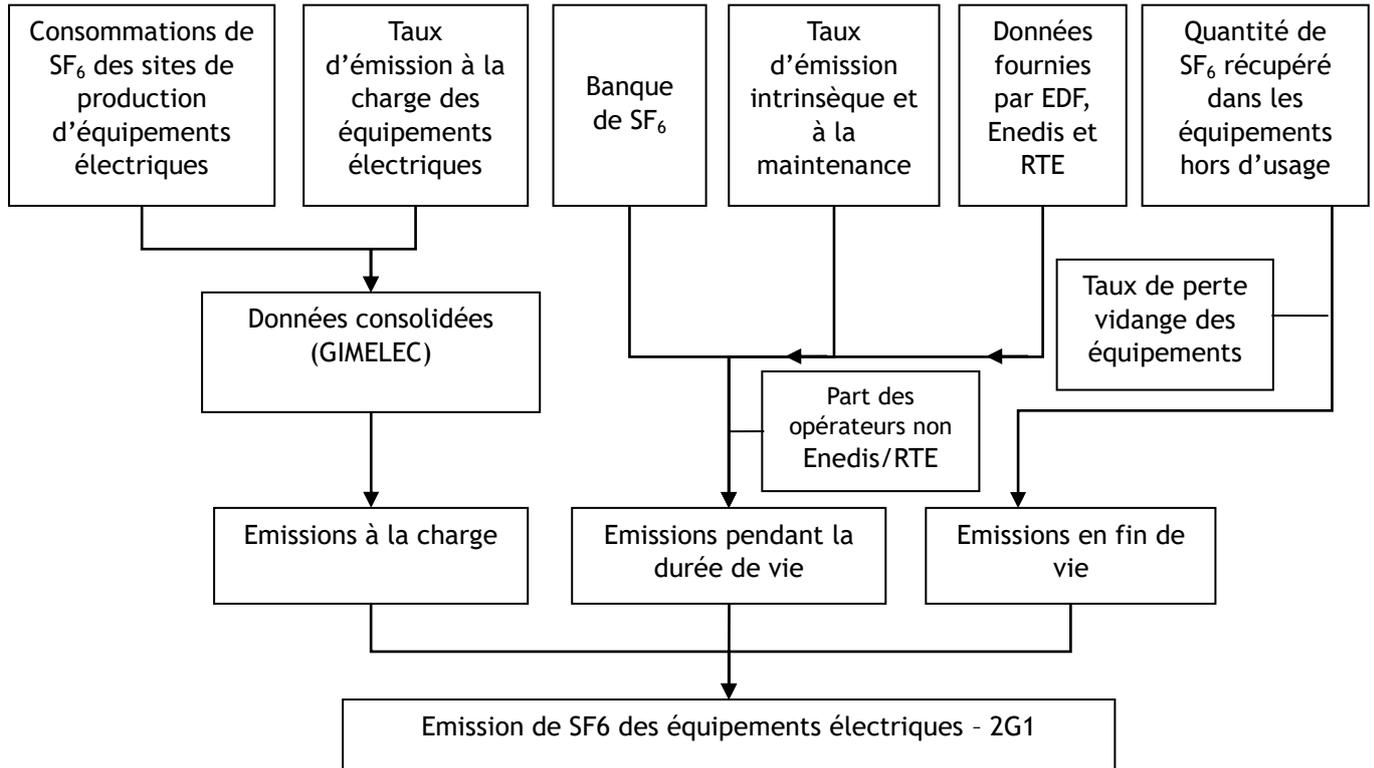
#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
17/01/2024	VM	22/02/2024	JV/JPC

## AUTRES UTILISATIONS DE HFC, PFC ET SF<sub>6</sub>

D'autres sources consomment et émettent du SF<sub>6</sub>, des PFC et des HFC.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.G.2, 2.G.4 et 2.F.6
CEE-NU / NFR	Hors champs
SNAPc (extension CITEPA)	06.05.08 (partiel)
CE / directive IED	Hors champs
CE / E-PRTR	Hors champs
CE / directive GIC	Hors champs

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Consommations annuelles de SF <sub>6</sub> et HFC Ventes de PFC	Dépend des secteurs (taux d'émissions nationaux et issues des lignes directrices du GIEC2006)

### Niveau de méthode :

Dépend du secteur traité.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE/DREAL - Déclarations annuelles de polluants
- [216] Nike - communication de données internes
- [217] 3M - communication annuelle de données internes
- [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
- [648] F2 Chemicals - communication de données internes annuelles
- [650] Oko-Recherche - « SF6 Bestand und Emissionen aus Teilchenbeschleunigern », 2012
- [651] INRA - communication de données internes, 2014
- [652] IRSN - communication de données internes, 2014
- [774] Enertime - Base de données système ORC en France, 2016
- [910] Réseau RASTA (Réseau d'Aides Scientifiques et Techniques des Accélérateurs) - <http://rasta.free-hosting.fr/partenaires>

[969] Institut National du Cancer - L'essentiel de la radiothérapie en France en 2016

[1266] Institut national du cancer - Chiffres clés de l'observatoire national de la radiothérapie entre 2017 et 2021

### Caractéristiques de la catégorie :

D'autres sources que les équipements électriques sont consommatrices et émettrices de SF<sub>6</sub> 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 des HFC et PFC.

#### SF<sub>6</sub> utilisé dans les chaussures de sport

Le SF<sub>6</sub> est utilisé dans les chaussures de sport dont la semelle contient un coussin d'air qui contient le SF<sub>6</sub>. Ce gaz a été utilisé jusqu'en 2000.

#### SF<sub>6</sub> utilisé dans le secteur industriel

Du SF<sub>6</sub> est consommé dans certains secteurs industriels tels que la fabrication de tubes électroniques et la production de câbles où il est utilisé comme isolant électrique. Sur certains sites, il existe des systèmes de récupération du SF<sub>6</sub> afin de le réutiliser ou le recycler.

#### SF<sub>6</sub> utilisé par les AWACS

Le SF<sub>6</sub> est utilisé comme isolant dans les systèmes de radar des avions de reconnaissance militaires de type Boeing E-3A (communément appelés AWACS). Les quatre AWACS exploités par l'Armée de l'Air française ont été mis en service en 1991.

#### SF<sub>6</sub> utilisé par les accélérateurs de particules

Le SF<sub>6</sub> est utilisé comme gaz isolant dans les accélérateurs de particules. Trois types d'accélérateurs de particules sont distingués :

- Accélérateurs industriels,
- Accélérateurs de recherche/université,
- Accélérateurs médicaux (radiothérapie).

#### SF<sub>6</sub> utilisé dans la recherche

Le SF<sub>6</sub> est utilisé pour ses caractéristiques spécifiques dans certaines activités liées à la recherche. Il est notamment employé lors d'essais de mouvements liquides afin de déterminer le comportement du gaz naturel dans les terminaux méthaniers. Les consommations ont été communiquées par l'organisme consommant le SF<sub>6</sub> pour cette

activité [558]. De plus, ce gaz a été utilisé (jusqu'en 2017) comme gaz traceur dans le secteur agricole afin de connaître les émissions de NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub> issues des stockages de lisiers et bâtiments d'élevages et pour la validation de modèle de dispersion atmosphérique. Les consommations de SF<sub>6</sub> 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<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>, C<sub>4</sub>F<sub>10</sub>, C<sub>5</sub>F<sub>12</sub>, C<sub>6</sub>F<sub>14</sub> et C<sub>10</sub>F<sub>18</sub>.

#### HFC utilisés dans d'autres applications techniques

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. Une petite vingtaine de sites disposent de tels systèmes contenant des HFC pour une puissance installée totale d'environ 13MW.

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.

Les HFC utilisés sont le HFC-134a, le HFC-245fa et le HFC-365mfc.

### Méthode d'estimation des émissions de GES :

#### ***Emissions de Gaz fluorés***

##### SF<sub>6</sub> utilisé dans les chaussures de sport

Les quantités consommées sont communiquées pour les années 1990 à 1999 par la société commercialisant ce type de produit [216]. Les émissions sont calculées en considérant que l'intégralité du SF<sub>6</sub> est émis en deux ans.

##### SF<sub>6</sub> utilisé dans le secteur industriel

Les émissions de SF<sub>6</sub> sont estimées par bilan matière et sont déclarées aux DREAL [19] chaque année par les exploitants.

##### SF<sub>6</sub> utilisé par les AWACS

Les émissions de SF<sub>6</sub> 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.

## SF<sub>6</sub> utilisé par les accélérateurs de particules

Les émissions de SF<sub>6</sub> 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. Par conséquent, le nombre d'accélérateurs de particules en France a été estimé à l'aide d'une étude allemande [650]. Il a été considéré en première approximation que le nombre d'accélérateurs industriels en France était identique à celui de l'Allemagne jusqu'en 2010 puis qu'il reste constant pour les années suivantes. Les facteurs d'émission des lignes directrices du GIEC 2006 ont été utilisés afin d'estimer les émissions de ce secteur.

### ➤ Accélérateurs de recherche/université :

La méthode Tier 2 a été privilégiée. Les consommations et/ou émissions de SF<sub>6</sub> 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, Tandatron, etc. et comptabilise une petite trentaine de laboratoires francophones sous diverses appartenances : CNRS, CEA et Universités. Lorsque des exploitants ne connaissaient pas le volume chargé ou les rejets de SF<sub>6</sub> à l'atmosphère, les paramètres indiqués dans les lignes directrices du GIEC 2006 ont été appliqués.

### ➤ Accélérateurs médicaux :

L'approche employée pour calculer les émissions de SF<sub>6</sub> est la méthode Tier 1 de l'IPCC 2006 qui est basée sur le nombre total d'accélérateurs qui consomment du SF<sub>6</sub> dans le domaine médical. Le livre blanc de la radiothérapie en France [557] réalisé en 2013 recense le nombre et le type d'appareils de traitement présents en France en 2011 et donne une prévision pour 2012. L'institut national du cancer a publié l'évolution du nombre d'appareils de traitement de la radiothérapie en France pour les années 2012 et 2016 [969]. Entre 2012 et 2016, il a été considéré une progression linéaire constante du parc d'équipements. L'institut national du cancer indique que le parc d'équipement est passé de 537 à 607 appareils entre 2017 et 2021. En fonction du type d'équipements, le nombre d'appareils utilisant du SF<sub>6</sub> a pu être estimé. Le parc d'accélérateurs utilisés en radiothérapie a été estimé depuis 1990 par la SFPM (Société Française des Physiciens Médicaux). Ce nombre, en constante augmentation, est passé de 146 en 1990 à plus de 600 en 2021.

## SF<sub>6</sub> utilisé dans la recherche

Les consommations ont été transmises par les organismes et instituts consommant du SF<sub>6</sub> dans leur activité [558], [651] et [652]. L'intégralité du SF<sub>6</sub> 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].

HFC utilisés dans d'autres applications techniques

Les émissions de HFC du site de production de caoutchouc synthétique sont déclarées chaque année par l'exploitant [19].

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).

#### ***Emissions de CO2***

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

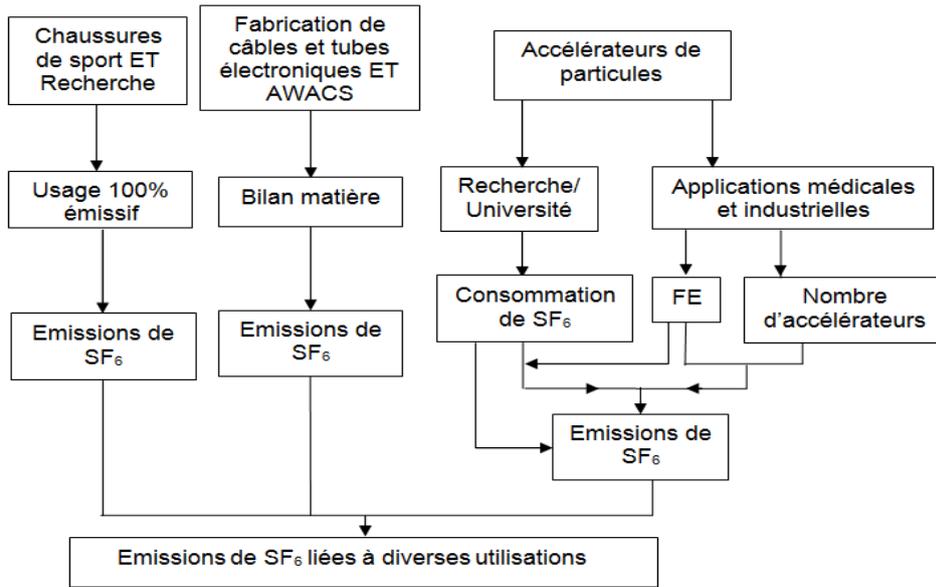
#### ***Emissions de CH4***

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

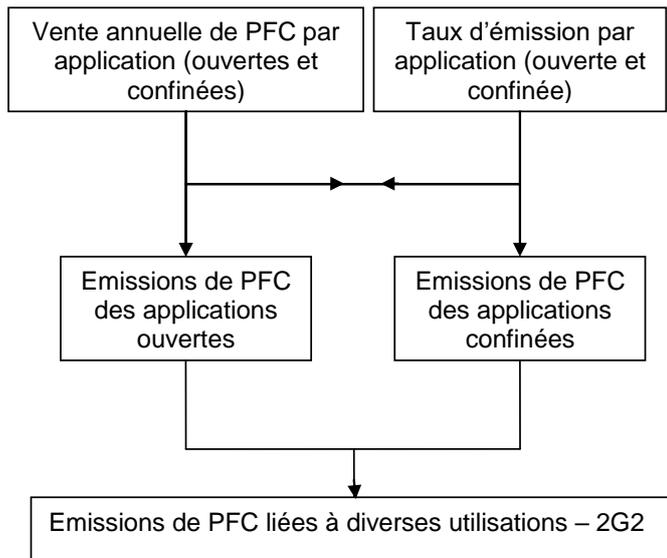
#### ***Emissions de N2O***

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

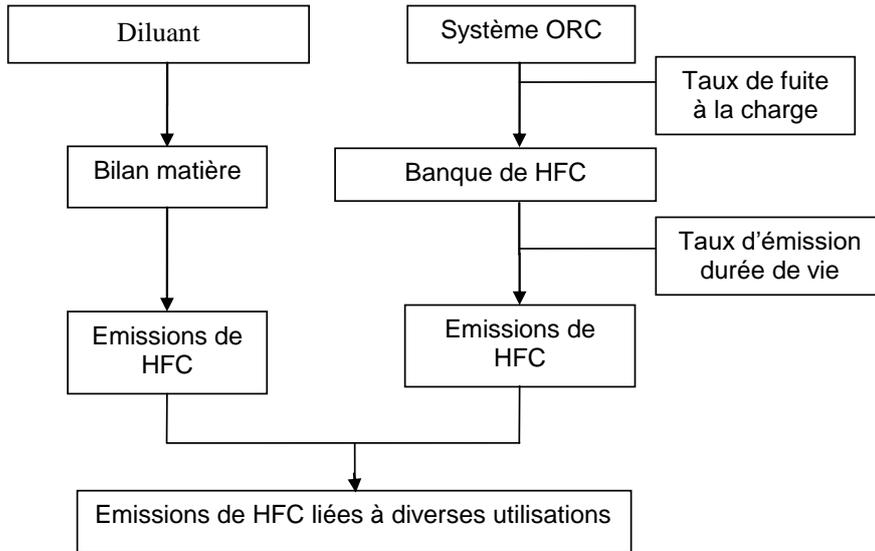
Logigramme du processus d'estimation des émissions de SF<sub>6</sub>.



Logigramme du processus d'estimation des émissions de PFC.



### Logigramme du processus d'estimation des émissions de HFC.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
16/01/2017	AD	21/02/2017	JPC

## ANESTHESIE

Ce secteur couvre les émissions liées à l'utilisation de N<sub>2</sub>O lors des anesthésies.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.G.3
CEE-NU / NFR	2.G.3
SNAPc (extension CITEPA)	06.05.01
CE / directive IED	(hors champ)
CE / E-PRTR	(hors champ)
CE / directive GIC	(hors champ)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Population	Valeur par défaut

### Niveau de méthode :

Rang 1

### Références utilisées :

[96] INSEE - Statistiques démographiques annuelles ([www.insee.fr](http://www.insee.fr))

[228] AIRPLUS n° 32/33, Novembre 2001, page 12

### Caractéristiques de la catégorie (NIR) :

Selon [228] le marché européen du N<sub>2</sub>O médical est de 1 800 Mg dont 90% pour le secteur médical. Le marché pour l'anesthésie en Europe en 2000 est donc évalué à 1 620 Mg.

### Méthode générale d'estimation des émissions (NIR) :

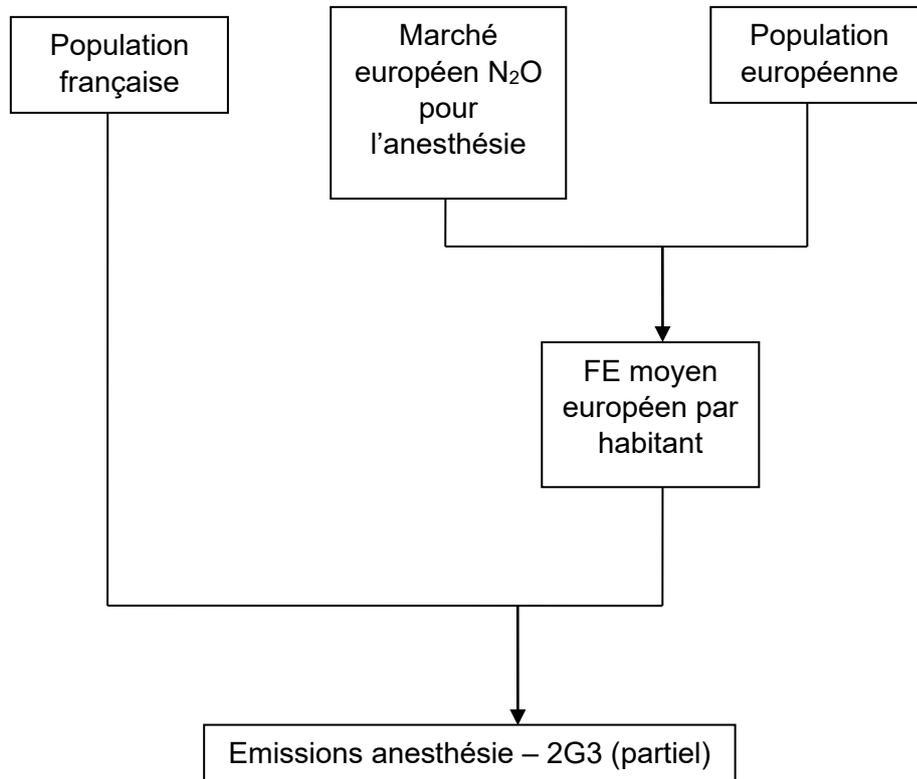
Les émissions sont déterminées proportionnellement à la population [96] en supposant que le cas français est proche du ratio moyen européen.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Seul du N<sub>2</sub>O est émis par cette activité. Le facteur d'émission correspond au ratio moyen européen (marché du N<sub>2</sub>O pour le secteur médical / population européenne) qui évolue au cours du temps.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
17/01/2024	VM	19/02/2024	JPC

## AUTRES UTILISATIONS DE PRODUITS (HORS SOLVANT)

Cette section concerne diverses activités hors utilisation de solvants. Les secteurs concernés sont : la consommation de tabac, l'utilisation de feux d'artifice et l'utilisation de N<sub>2</sub>O comme propulseurs dans les produits aérosols.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.G.3, 2.H.2 et 2.H.3
CEE-NU / NFR	2.G.3
SNAPc (extension CITEPA)	06.06.01 à 06.06.03, 06.05.06 (partiel)
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Quantités de tabac vendues, quantités de feux d'artifices utilisées, ventes d'aérosols de crème chantilly	Valeurs par défaut Usage totalement émissif pour les aérosols

### Niveau de méthode :

1 par assimilation

### Références utilisées :

- [96] INSEE - Statistiques démographiques annuelles ([www.insee.fr](http://www.insee.fr))
- [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
- [354] KEPLEIS NE, APTE, MG, GUNDEL LA - Characterizing ETS emissions from cigars : chambers of nicotine, particle mass and particle size, 1999
- [355] PNUE - Outil spécialisé (Toolkit) pour l'identification et la quantification des rejets de dioxine et furanes, Février 2005
- [356] Observatoire français des drogues et des toxicomanies (OFDT) - Séries statistiques annuelles « Vente de tabac et cigarettes - évolution depuis 1990 »
- [561] CFA - Comité Français des Aérosols - Estimation des ventes d'aérosols de crème chantilly en France et quantité de N<sub>2</sub>O contenu dans un boîtier, 2013
- [1014] Base de données PRODCOM (EUROSTAT) - PRCCODE 20511300 - Articles pour feux d'artifice / Production vendue, exportations et importations par liste PRODCOM (NACE Rév. 2) - données annuelles [DS-066341]

[1015] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2016/2019/2023 Part B 2.D.3i-2G Other solvent and product use, Tobacco combustion

[1016] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2016/2019/2023 Part B 2.D.3i-2G Other solvent and product use, Other, Use of Fireworks

[1017] Differences in cadmium transfer from tobacco to cigarette smoke, compared to arsenic or lead, J.-J. Piadéa, G. Jaccardb,\*, C. Dolkaa, M. Belushkina, S. Wajrockb, 2015, table 4

[1018] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2009 Part B 2.D.3i-2G Other solvent and product use, Tobacco combustion

[1070] OFDT - drogues et addictions dans les Outre-mer, juin 2020

[1071] ORS Réunion - Lettre n° 30 - les chiffres clés du tabagisme à La Réunion, 29 octobre 2021

[1253] Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, Communiqué de presse du 7 septembre 2022, quantité de tabac consommé en 2020 et 2021 en Nouvelle-Calédonie

[1254] ISPF (institut de la statistique de la Polynésie française), Importations de tabac

[1267] ORS Réunion - Tableau de bord - Les comportements addictifs à la Réunion - 2022

[1268] France Agrimer - La consommation de produits laitiers

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

La consommation de tabac est émettrice des différentes catégories de substances considérées dans les inventaires d'émission exceptés les gaz à effet de serre par suite de l'origine organique du CO<sub>2</sub>. Les dioxines et furanes sont également prises en compte [354, 355].

L'utilisation des feux d'artifices est source de nombreux polluants atmosphériques, tels que les particules, les métaux lourds, ainsi que les polluants acidifiants et photochimiques.

La consommation de N<sub>2</sub>O comme gaz propulseur est à l'origine d'émissions de GES. Cet usage est totalement émissif.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Consommation de tabac

Les émissions sont déterminées à partir de la consommation de tabac [356, 1070, 1071, 1253, 1254, 1267].

Utilisation de feux d'artifices

Les émissions sont estimées à partir des données de production, importation et exportation de feux d'artifices en France, disponibles via la base de données *PRODCOM* d'EUROSTAT [1014], selon la formule :  $\text{utilisation} = \text{production} + \text{importation} - \text{exportation}$ .

Consommation de N<sub>2</sub>O comme gaz propulseur dans les produits aérosols

Les données de ventes d'aérosols de crème chantilly, dans lesquels le N<sub>2</sub>O est consommé, sont transmises par le CFA [561] pour les années 2002 et 2008. Elles sont estimées respectivement à environ 23 et 27 millions d'unités en France métropolitaine. Entre 1990 et 2002, les quantités vendues sont considérées constantes et entre 2002 et 2008, les ventes

sont interpolées. A partir de 2013, le nombre d'unités de crèmes chantilly vendues en France sont issues des rapports de France Agrimer sur la consommation de produits laitiers [1268]. Entre 2008 et 2013, les ventes sont interpolées.

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

##### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue de cette substance.

##### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue de cette substance.

##### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Le taux de N<sub>2</sub>O contenu dans un boîtier de crème chantilly a été transmis par le CFA [561] et est égal à 6 g N<sub>2</sub>O/unité. L'intégralité du N<sub>2</sub>O 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.

##### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances.

#### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

##### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Seule l'utilisation de feux d'artifices est concernée. Les émissions sont déterminées à partir des facteurs d'émission issus du Guidebook EMEP / CORINAIR [1016].

##### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

Seule la consommation de tabac et l'utilisation de feux d'artifices sont concernées. Les émissions sont déterminées à partir des facteurs d'émission issus du Guidebook EMEP / CORINAIR, respectivement [1015] et [1016].

##### **Emissions de COVNM**

Seule la consommation de tabac est concernée. Les émissions sont déterminées à partir des facteurs d'émission issus du Guidebook EMEP / CORINAIR [1015].

##### **Emissions de CO**

Seule la consommation de tabac et l'utilisation de feux d'artifices sont concernées. Les émissions sont déterminées à partir des facteurs d'émission issus du Guidebook EMEP / CORINAIR, respectivement [1015] et [1016].

##### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Seule la consommation de tabac est concernée. Les émissions sont déterminées à partir des facteurs d'émission issus du Guidebook EMEP / CORINAIR [1015].

##### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Deux sources sont concernées : la consommation de tabac et l'utilisation de feux d'artifice. Le facteur d'émission TSP pour l'usage de tabac est issu d'une étude américaine [354] et celui pour l'utilisation de feux d'artifice provient du Guidebook EMEP / CORINAIR [1016].

**Emissions de PM10, PM2,5, PM1,0**

Les particules issues de la consommation de tabac sont quant à elles toutes de diamètre inférieur à 1 µm selon la revue scientifique ES&T [250]. Les émissions de PM<sub>10</sub> et de PM<sub>2,5</sub> sont renseignées pour l'utilisation de feux d'artifice et le facteur d'émission est tiré du Guidebook EMEP / CORINAIR [1016].

**Métaux lourds (ML)**

Concernant la consommation de tabac, les émissions de cuivre, nickel et zinc sont déterminées à partir des facteurs d'émissions issus de la dernière édition du Guidebook EMEP [1015]. Les émissions d'arsenic, de cadmium et de plomb sont estimées à partir des facteurs d'émissions provenant d'une étude américaine [1017]. Faute de facteurs d'émissions estimés dans la dernière version du Guidebook EMEP, les émissions de chrome et de mercure sont déterminées avec les facteurs d'émissions d'une version antérieure [1018].

Les émissions de l'utilisation de feux d'artifices sont estimées à partir des facteurs d'émissions issus du Guidebook EMEP [1016].

**Dioxines et furanes (PCDD-F)**

Faute d'informations suffisantes, seule la consommation de tabac est renseignée dans cette section pour les émissions de dioxines et furanes. Ces émissions sont déterminées à partir des facteurs d'émission issus du PNUE substances chimiques [355].

**Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Au sens de la CEE-NU, les HAP regroupent les quatre substances suivantes : benzo(a)pyrène (BaP), benzo(b)fluoranthène (BbF), benzo(k)fluoranthène (BkF) et indéno(123-cd)pyrène (IndPy).

Faute d'informations suffisantes, seule la consommation de tabac est renseignée dans cette section pour les émissions de HAP qui sont déterminées à partir des facteurs d'émission issus de l'EMEP Guidebook [1015].

**Polychlorobiphényles (PCB)**

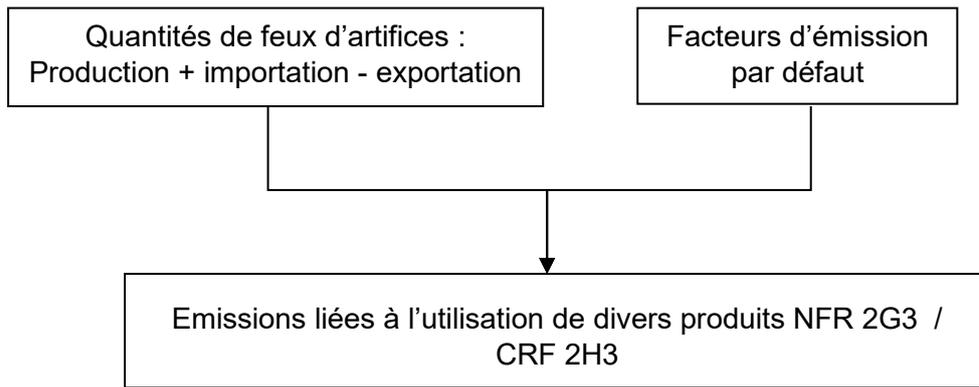
Il n'y a pas d'émission attendue de ces polluants.

**Hexachlorobenzène (HCB)**

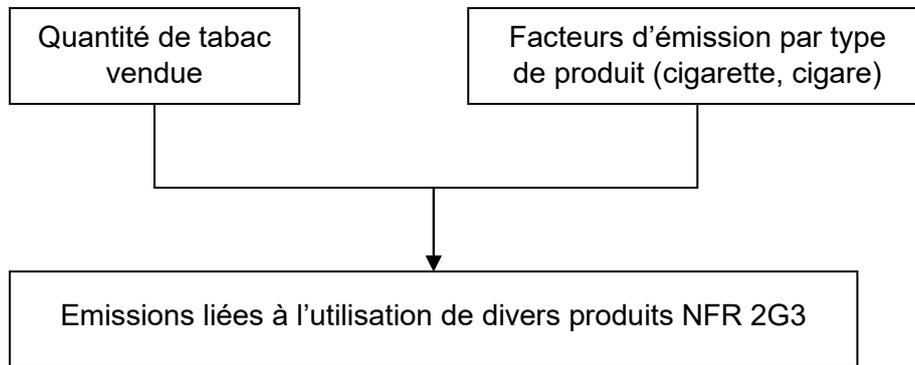
Il n'y a pas d'émission attendue de ce polluant.

**Logigramme du processus d'estimation des émissions**

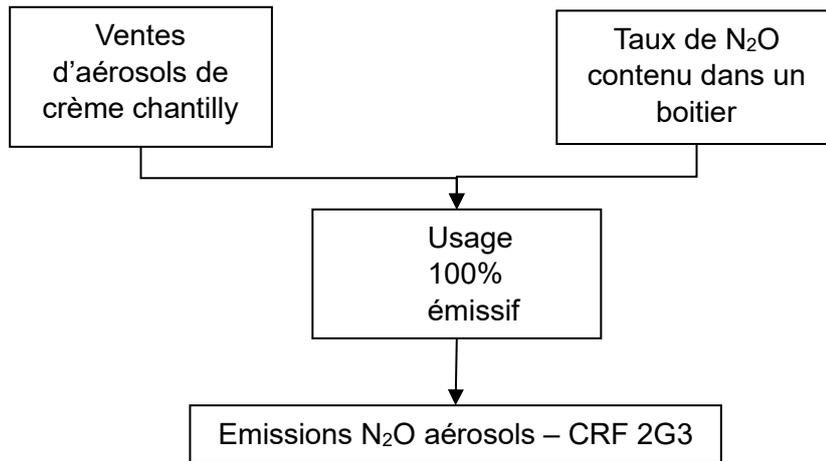
Feux d'artifices



Tabac



Aérosols



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
02/01/2023	EF	29/01/2023	JV

## AUTRES SOURCES DE DECARBONATATION

Ce paragraphe permet d'introduire la méthode de calcul des émissions de CO<sub>2</sub> induites par l'utilisation des carbonates consommés dans les techniques de désulfuration dans le secteur du chauffage urbain et de l'électricité.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2G4
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension CITEPA)	040631
CE / directive IED	-
CE / E-PRTR	-
CE / directive GIC	-

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up intégral (toutes les installations sont considérées individuellement)	Généralement spécifiques de chaque installation considérée individuellement

### Niveau de méthode :

Rang GIEC 3

### Références utilisées :

[19] DRIRE/DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants

[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

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Les émissions déterminées dans cette section sont liées au phénomène de décarbonatation induit par l'utilisation de produits carbonés dans les techniques de désulfuration.

Certaines installations de chauffage urbain (5 sites) et certaines centrales thermiques (4 sites) sont équipées d'un système de désulfuration afin de réduire les émissions de SO<sub>2</sub>. 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<sub>2</sub>.

#### 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 (2 sites) pour les quatre autres sites). Ces consommations sont déterminées site par site [19].

#### Centrales thermiques

L'activité correspond à la consommation de produits utilisés. Les quantités sont déterminées site par site. Diverses méthodes sont appliquées selon les cas rencontrés comme indiqué ci-dessous.

Centrales thermiques avec mise en œuvre de la désulfuration depuis 1999		Centrales thermiques avec mise en œuvre de la désulfuration de 1990 à 1998
1999-2004	à partir de 2005	Méthode C
Méthode B	Méthode A	

Méthode A : Utilisation des déclarations annuelles de polluants [19].

Méthode B : Les consommations sont déterminées à partir des émissions de CO<sub>2</sub> liées à la décarbonatation qui sont connues via les déclarations annuelles de polluants [19] et du facteur d'émission associé à l'utilisation du calcaire, soit 440 kg CO<sub>2</sub>/t calcaire [348 - tableau 5].

Méthode C : Données communiquées par les sites.

### Méthode d'estimation des émissions de GES :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

##### Chauffage urbain

Cinq sites de chauffage urbain mettent en œuvre une technique secondaire de désulfuration respectivement depuis 1991, 2008, 2012 et 2020 (2 sites).

Les émissions nationales proviennent des déclarations annuelles de polluants [19].

##### Centrales thermiques

Quatre centrales thermiques sont équipées de systèmes de désulfuration afin de réduire les émissions de SO<sub>2</sub> (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.

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue.

***Emissions de N2O***

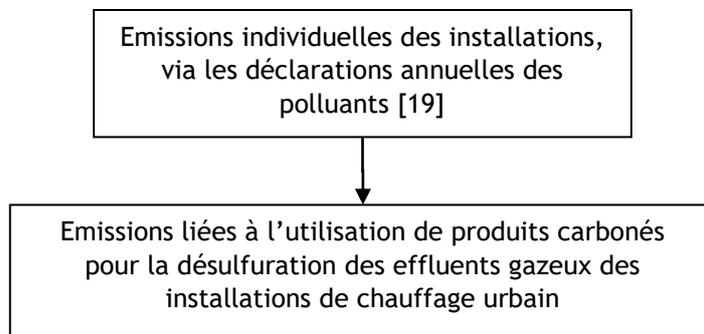
Il n'y a pas d'émission attendue.

***Emissions de Gaz fluorés***

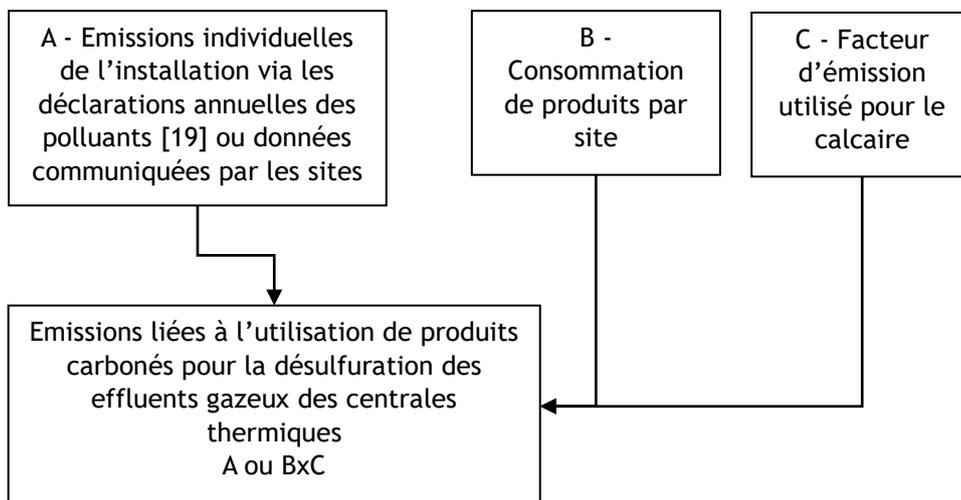
Il n'y a pas d'émission attendue.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.

Logigramme du processus d'estimation des émissions - Chauffage urbain (désulfuration)



Logigramme du processus d'estimation des émissions - centrales thermiques (désulfuration)



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
06/02/2024	CV/CR	21/02/2024	JV/JPC

## INDUSTRIE DU BOIS

Cette section traite des émissions de l'industrie du bois (fabrication de panneaux agglomérés et travail du bois) à l'exclusion des activités relatives à la consommation d'énergie (se reporter à la section sur la combustion dans l'industrie manufacturière) et hors décarbonatation (se reporter à la section relative à l'industrie papetière).

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2.H.1 et 2.H.2
CEE-NU / NFR	2.H.1 et 2.I
SNAPc (extension CITEPA)	04.06.01 et 04.06.20
CE / directive IED	Annexe 1, paragraphe 6.1a
CE / E-PRTR	6a et b
CE / directive GIC	(hors champ)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up limité depuis 2015 pour la fabrication de panneaux de particules, statistiques nationales de production de bois scié	Extrapolation au niveau national à partir des données connues par site pour les panneaux de particules. Valeurs par défaut pour la production de bois scié.

### Niveau de méthode :

Rang 1 pour le travail du bois et de rang 3 pour les panneaux de particules (par assimilation)

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [183] Citepa - IER - Study on particulate matter emissions: particle size distribution chemical composition and temporal profiles - Interreg III for ASPA, January 2005
- [1013] Base de données statistique FAO : <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/FO>  
codes produits : 1646, 1649, 1697, 1606, 1648
- [1048] Agreste - Production commercialisée de sciages et autres produits bois (1990-2018) <https://stats.agriculture.gouv.fr/disar-saiku/?plugin=true&query=query/open/SCINR01#query/open/SCINR01>
- [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

## Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Cette section traite des émissions de l'industrie du bois.

### a/ Fabrication de panneaux agglomérés

L'activité du secteur de la fabrication de panneaux agglomérés correspond à la production des différents types de panneaux suivants :

- Les panneaux de particules ;
- Les panneaux de grandes particules orientées (OSB) ;
- Les panneaux de fibres à densité moyenne (MDF).

Les procédés de fabrication des panneaux agglomérés sont responsables d'émissions de COVNM et de poussières.

### b/ Travail du bois.

Le travail du bois engendre des émissions de poussières.

## Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

### Introduction

#### Fabrication de panneaux agglomérés

Entre 1988 et 2014, les productions nationales de chaque type de panneaux agglomérés sont déterminées à partir des informations disponibles dans la base de données FAO [1013].

À partir de 2015, les productions de panneaux de particules, OSB et MDF sont déterminées en bottom-up à partir des déclarations GEREPE des exploitants [19]

#### Travail du bois

L'activité considérée pour le travail du bois est la quantité de bois scié. Le ministère de l'agriculture fournit cette donnée en m<sup>3</sup> par essence de bois (sapin, épicéa, pin sylvestre, douglas, pin maritime...) [1048].

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

### **Emissions de COVNM**

#### Fabrication de panneaux agglomérés

Avant 2015, les émissions de COVNM sont estimées au moyen de facteurs d'émission spécifiques à chaque type de panneaux. Les émissions de COVNM déclarées dans GEREPE sont utilisées pour déterminer un facteur d'émission moyen annuel par type de panneaux.

A partir de 2015, les émissions de COVNM tout comme les productions sont estimées en bottom-up à l'aide des déclarations GEREPE des exploitant [19].

### ***Emissions de poussières totales en suspension (TSP)***

Fabrication de panneaux agglomérés

Avant 2015, les émissions de TSP sont estimées au moyen de facteurs d'émission spécifiques à chaque type de panneaux. Les émissions de TSP déclarées dans GEREPE sont utilisées pour déterminer un facteur d'émission moyen annuel par type de panneaux.

A partir de 2015, les émissions de TSP tout comme les productions sont estimées en bottom-up à l'aide des déclarations GEREPE des exploitant [19].

### **Travail du bois**

Les émissions de TSP sont estimées au moyen d'un facteur d'émission déterminé par une étude autrichienne [1049], disponible en kg de TSP par tonne de bois scié.

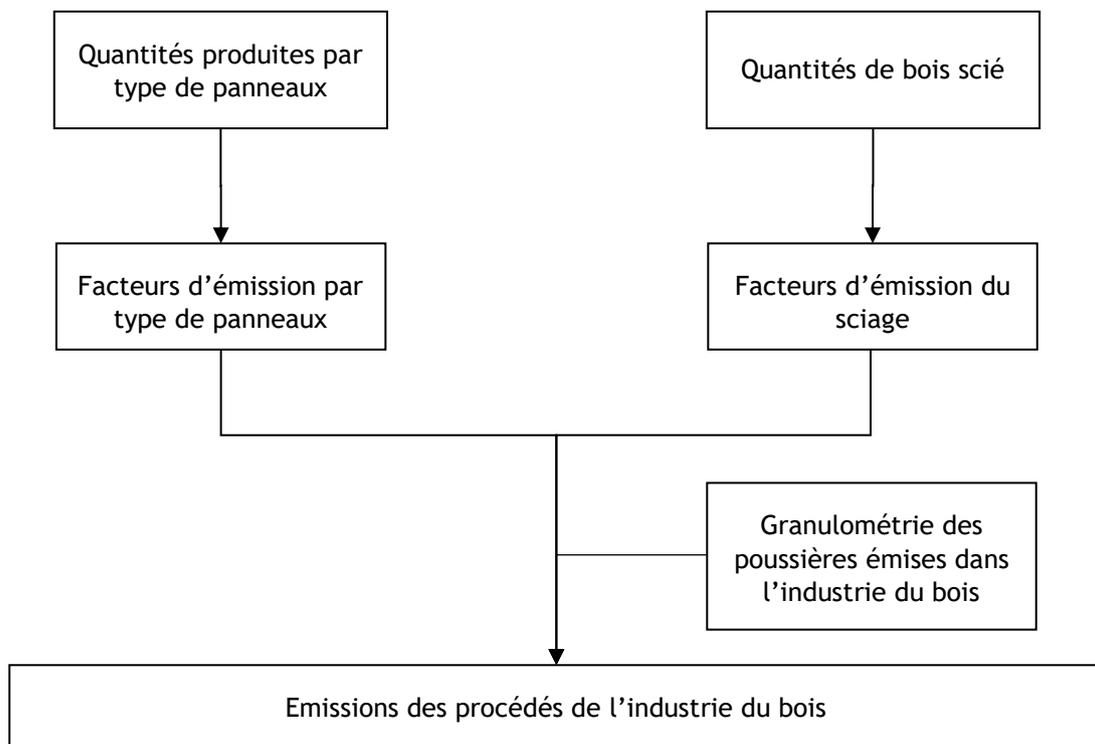
Emissions de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$

Fabrication de panneaux agglomérés et travail du bois

Les émissions de  $PM_{10}$  et de  $PM_{2.5}$  sont estimées à partir des émissions de TSP en utilisant la granulométrie suivante [1049] :

- $PM_{10} = 40\%$  TSP
- $PM_{2.5} = 16\%$  TSP

### **Logigramme du processus d'estimation des émissions**



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
27/12/2022	EF	29/01/2023	JV

## PAPETERIES

Un paragraphe décrit les émissions de CO<sub>2</sub> induites par la décarbonatation dans le secteur de la production de papier. Un autre paragraphe traite des émissions de SO<sub>2</sub> induites par la production de pâte à papier kraft.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2H1
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension CITEPA)	040630 et 040602
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	6b
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Quantité de carbonates utilisés comme produit chimique d'appoint	Calculé à partir des déclarations annuelles pour le CO <sub>2</sub>
Production de pâte avec le procédé kraft, le procédé bisulfite et mi-chimique	Calcul spécifique pour le SO <sub>2</sub> et les COVNM

### Niveau de méthode :

Rang GIEC 2 jusqu'en 2018 et rang 3 depuis 2019 pour les émissions de CO<sub>2</sub> et rang 2 pour les émissions de SO<sub>2</sub> et de COVNM

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [257] COPACEL - Communication de Philippe BRULE lors de la préparation du PNAQ, 2005
- [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
- [1050] Base de données FAO, Production de Pâte de bois chimique, au bisulfite, blanchie (Code Produit : 5510 et 1655)

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Les données de production de pâte à papier sont disponibles à travers les statistiques annuelles de la Fédération COPACEL [924] pour la production de pâte avec le procédé kraft et de la base de données FAO [1050] pour la production avec le procédé bisulfite et mi-chimique. La production à partir du

procédé mi-chimique a cessé en 2009 et il ne reste plus qu'un site produisant à l'aide du procédé mi-chimique (la production est donc une information confidentielle et les données FAO sont une estimation).

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

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.

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de procédé sont dues à l'utilisation de carbonates comme produits chimiques d'appoint. Bien que les pertes de sodium et de calcium du système de récupération et de la zone de caustification soient généralement compensées par des substances chimiques ne contenant pas de carbonates, du carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) et du carbonate de sodium (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), qui entraînent des émissions de CO<sub>2</sub>, sont parfois utilisés en faibles quantités [257].

Le carbone contenu dans ces substances chimiques est généralement d'origine fossile, mais il peut dans certains cas provenir de la biomasse (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> acheté à des installations fabriquant du papier mi-chimique à base de soude). Il est émis sous forme de CO<sub>2</sub> 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.

Deux sites de production de papier en France consomment du bicarbonate de soude.

Pour l'un des deux sites, la consommation de bicarbonate de soude et les émissions de CO<sub>2</sub> induites sont connues depuis 2014 via les déclarations annuelles [19]. Avant 2014, il est supposé que la consommation et les émissions sont constantes.

Pour le second site, la production de papier est connue depuis 2013 et la consommation de bicarbonate de soude est connue depuis 2019. A partir du ratio « bicarbonate de soude/production de papier » de l'année 2019, est ainsi calculée la consommation de bicarbonate de soude pour la période 2013-2018. Avant 2013, les données de consommations de bicarbonate de soude et de productions de papier sont les moyennes de la période 2013-2019 [19]. Les émissions de CO<sub>2</sub> induites par l'utilisation de bicarbonate de soude sont connues à partir de l'année 2019. Le facteur d'émission calculé en 2019 (t CO<sub>2</sub>/t de bicarbonate de soude) est appliqué aux consommations calculées avant 2019 pour estimer les émissions associées.

Les données de consommation sont confidentielles.

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue.

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Il n'y a pas d'émission attendue.

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Dans les dernières lignes directrices de reporting CLRTAP (ECE/EB.AIR/125 Mars 2014), une évolution du périmètre "obligatoire" des SO<sub>x</sub> est réalisée. En effet, il est indiqué : *"The substances for which there are existing reporting obligations in the Convention and the protocols as further specified by Executive Body decision 2013/4, include: "Sulphur" (SO<sub>x</sub>), which means all sulphur compounds expressed as sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>) (including sulphur trioxide (SO<sub>3</sub>), sulphuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), and reduced sulphur compounds, such as hydrogen sulphide (H<sub>2</sub>S), mercaptans and dimethyl sulphides, etc.)"* alors que dans la précédente version des lignes directrices de reporting CLRTAP de 2009 (ECE/EB.AIR/97, 27 January 2009), il était mentionné : *"Sulphur oxides (SO<sub>x</sub>) means all sulphur compounds, expressed as sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>). The major part of anthropogenic emissions of sulphur oxides to the atmosphere is in the form of SO<sub>2</sub> and, therefore, emissions of SO<sub>2</sub> and sulphur trioxide (SO<sub>3</sub>) should be reported as SO<sub>2</sub> in mass units. Emissions of other sulphur compounds such as sulphate, sulphuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) and non-oxygenated compounds of sulphur, e.g. hydrogen sulphide (H<sub>2</sub>S), are less important than the emissions of sulphur oxides on a regional scale. However, they are significant for some countries. Therefore, Parties are also recommended to report emissions of all sulphur compounds as SO<sub>2</sub> in mass units."*

Ainsi, avec le nouveau Protocole de Göteborg et la nouvelle directive NEC, la prise en compte des autres composés soufrés (autres que SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub>) qui était seulement recommandée, est devenue obligatoire à rapporter dans les SO<sub>x</sub>. Il y a donc bien lieu d'ajouter le SO<sub>2</sub> lié à l'oxydation du H<sub>2</sub>S pour l'industrie de la pâte à papier.

Pour la production de pâte à papier kraft, le Guidebook EMEP 2016 [925] propose un facteur d'émission Tier 2 (table 3.2) de 2 kg SO<sub>2</sub>/t pâte. Cette valeur provient du document BREF de 2001 (document de référence sur les meilleures techniques disponibles). Cette donnée était donc applicable pour les années antérieures à 2001.

Pour l'année 2016, en accord avec la fédération COPACEL, les données provenant du dernier BREF papetier de 2015 [926/927] sont prises en compte. Il s'agit des émissions diffuses (car les émissions canalisées sont comptabilisées avec la combustion de liqueur noire dans le chapitre 1A2 - Industrie manufacturière) dont une méthode de quantification est proposée dans le chapitre « 2.2.2.2.6 *Measurement of diffuse emissions in kraft pulp mills* » du BREF papetier de 2015 [926/927]. Cette méthode a été appliquée à 4 sites papetiers suédois, dont les résultats sont présentés dans la table 2.8, et indique un facteur d'émission moyen de 0,29 kg S/t pâte soit 0,58 kg SO<sub>2</sub>/t pâte.

Pour déterminer le facteur d'émission entre 2002 et 2016, les facteurs d'émission sont interpolés linéairement.

De plus, le Guidebook EMEP 2016 [925] pour la production de pâte bisulfite fournit un facteur d'émission dans le cas de la production de pâte sulfite magnésium. En France, il n'existe qu'un seul site de production de pâte bisulfite. Ce site fabrique de la pâte bisulfite d'ammonium. La valeur du Guidebook EMEP ne s'applique donc pas. De plus, dans les conclusions des MTD (Meilleures techniques disponibles) [927], pour la production de pâte bisulfite, aucun facteur d'émission n'est indiqué.

Ainsi, seules les émissions de SO<sub>2</sub> liées à la production de pâte à papier kraft sont estimées pour la France. Les facteurs d'émission de SO<sub>2</sub> sont présentés dans la base de données OMINEA.

### **Emissions de COVNM**

La matière première nécessaire à la production de pâte à papier étant le bois, des émissions de COVNM sont causées par les étapes d'écorçage, de manutention du bois, de cuisson du bois et dans les chaudières de recyclage et évaporateurs. Le Guidebook EMEP fournit 3 facteurs d'émission pour la production de pâte à papier suivant le procédé kraft, le procédé bisulfite et mi-chimique [925]. Ces facteurs d'émission sont utilisés pour toute la série temporelle.

### **Emissions de poussières, CO et NO<sub>x</sub>**

Les émissions de poussières (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, BC), de CO et de NO<sub>x</sub> sont attribuables à la combustion de liqueur noire et comptabilisées dans le chapitre 1A2 - Industrie manufacturière.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
15/01/2024	CR/QB	16/02/2024	EM

## INDUSTRIES AGRO-ALIMENTAIRES

Cette section se rapporte aux activités de l'industrie agro-alimentaire. Les émissions sont notamment dues aux phénomènes de fermentation, à la manutention ou à des procédés de production particuliers.

Les activités concernées sont :

- La production de pain, de vin, de bière, d'alcools, de sucre et de farine,
- La manutention de céréales,
- Le fumage de la viande et du poisson.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2H2
CEE-NU / NFR	2H2
SNAPc (extension CITEPA)	040605, 040606, 040607, 040608, 040621, 040625, 040626, 040627
CE / directive IED	6.4.b (partiel)
CE / E-PRTR	8bii
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Volumes de production des différents produits	Valeurs issues d'EMEP ou de publications scientifiques spécifiques Calcul spécifique à la France pour la fabrication du vin

### Niveau de méthode :

Le calcul des émissions correspond à une méthode de niveau 1 pour la plupart des industries agroalimentaires à l'exception de la production de vin pour laquelle une méthode de niveau 2 intégrant de manière fine les zones de production et le degré alcoolique des vins.

### Références utilisées :

- [42] OFEFP - Coefficients d'émission des sources stationnaires, éditions 1995 et 2000
- [68] OFEFP - Mesures pour la réduction des émissions de PM<sub>10</sub>. Document Environnement n° 136 - juin 2001
- [79] TNO - Particulate matter emissions (PM<sub>10</sub> - PM<sub>2.5</sub> - PM<sub>0.1</sub>) in Europe in 1990 and 1993 - February 1997
- [85] SCEES - AGRESTE, Statistique agricole annuelle

- [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
- [332] ANPEA (Association nationale professionnelle pour les engrais et amendements) - Résultats enquête amendements basiques - <http://www.anpea.com/>
- [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
- [526] Données fournies par des producteurs de sucre, juillet 2009
- [578] Brasseurs de France - Statistiques de vente 2006-2010 ([www.brasseurs-de-france.com](http://www.brasseurs-de-france.com)), novembre 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
- [975] Rapports annuels IEOM - Institut d'Emission des départements d'Outre-Mer (<http://www.ieom.fr/ieom/publications/>)
- [1062] Données fournies par l'UNGDA - Union Nationale des Groupements de Distillateurs d'Alcool
- [1169] EMEP/EEA 2013 - Section 2.H.2 Food and beverages industry
- [1276] Rapports annuels sur la filière sucrière de l'association Cultures Sucre - <https://www.cultures-sucre.com/Medias/content-editor/pdf/memo-stat-2023-FR-planche-BD.pdf>

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Les activités liées à l'agroalimentaire sont dispersées dans de très nombreuses installations aux tailles diverses. Elles génèrent principalement des émissions de COVNM et de particules, le plus souvent estimées à partir des niveaux de production.

#### Production de pain

La fabrication de pain implique une fermentation des sucres de la farine par les levures à l'origine d'émissions de COVNM (principalement de l'éthanol). La fabrication annuelle de pain en France est estimée à partir des informations fournies dans les fiches statistiques de l'ANMF (Association nationale de la meunerie française) [494], des Études Individuelles Nationales des Consommations Alimentaires (INCA1 [495] et INCA2 [496]), des informations transmises par la Confédération Nationale de la Boulangerie [108] et des statistiques de l'AGRESTE [698].

### Production de vin

Les volumes de production des différents types de vins proviennent des statistiques agricoles annuelles [85].

### Production de bière

La production annuelle de bière (y compris non-alcoolisée) est fournie par les statistiques sur les industries agro-alimentaires de l'AGRESTE [698] et complétée pour les années les plus récentes par les données publiées par « Brasseurs de France » [578]. La production en Outre-Mer (Martinique, Réunion, Mayotte, Nouvelle-Calédonie, Polynésie, Saint-Pierre-et-Miquelon) est également estimée. Les émissions ont lieu en particulier lors de la germination et du rôtissage des grains (phase de conversion de l'orge), la fermentation, mais également lors des manipulations des matières premières au cours des différentes phases du procédé.

### Production d'alcools

Cette sous-catégorie rassemble la production des alcools autres que les vins et les bières : spiritueux, liqueurs, apéritifs à base de vin, eaux de vie par fermentation de fruits, eaux de vie de vin (Cognac, Armagnac), cidre, Whisky et autres alcools (vodka, etc.). Les productions sont fournies par les statistiques sur les industries agro-alimentaires de l'AGRESTE [698] et par les rapports annuels de l'IEOM (Institut d'Emission des départements d'Outre-Mer). Les procédés différents entre les divers produits et les émissions sont estimées séparément pour les eaux de vie par fermentation de fruits et les autres. A noter que la fabrication d'alcool industriel pur, qui a lieu dans les sucreries industrielles qui font également de la distillerie, n'est pas pris en compte ici. Une première étude des déclarations de ces sites industriels montre un niveau d'émissions de COVNM relativement bas qui mériterait néanmoins d'être inclus.

### Manutention de céréales

La manipulation des céréales (stockage, transport, séchage) engendre des émissions de particules. Ces émissions sont estimées à partir des quantités de céréales collectées dont les tonnages sont évalués dans le cadre du projet CORTEA EMICER [699]. Pour les années, où cette donnée manque, l'activité est extrapolée avec les tendances de productions de céréales fournies par les statistiques agricoles annuelles [85] : afin d'estimer les quantités de céréales collectées, on applique le ratio quantité de céréales collectées / quantité de céréales produites pour des années connues (78% en moyenne).

### Production de sucre

La fabrication du sucre est à l'origine de rejets de particules et de COVNM. Ces émissions sont estimées sur la base de la production de sucre fournie par les statistiques sur les industries agro-alimentaires de l'AGRESTE [698] et de l'association Cultures Sucre qui regroupe les planteurs de betterave sucrière et les fabricants de sucre français [1276].

### Production de farine

La production de farine est à l'origine de rejets de particules. Ces émissions sont estimées sur la base de la production de farine fournie par les statistiques sur les industries agro-alimentaires de l'AGRESTE [698].

### Fumage de viande

Le fumage de viande est à l'origine de rejets de particules, CO, COVNM et dioxines. Ces émissions sont estimées sur la base de la production de viandes et de poissons fumés fournie par les statistiques sur les industries agro-alimentaires de l'AGRESTE [698].

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de COVNM**

##### Production de pain

Le facteur d'émission provenant du guide EMEP EEA 2019 [1169] pour la catégorie de pain dite « typique » pour l'Europe est corrigé par le CITEPA pour prendre en compte tous les COVNM, il est ainsi estimé à 4,7 kg COVNM / tonne de pain.

##### Production de vin

Les facteurs d'émission sont spécifiques des régions et de la qualité des vins. Les facteurs d'émission moyens sont calculés à partir des informations disponibles dans la référence [109]. Ils varient suivant les années entre 30 et 40 g COVNM / hl pour les vins blancs (incluant les eaux de vie issues de vin) et entre 75 et 80 g COVNM / hl pour les vins rouges.

##### Production de bière

Les émissions de COVNM ont lieu en particulier lors de la germination, du rôtissage des grains et de la fermentation. Le facteur d'émission appliqué est donné par le guide EMEP 2019 avec 43,68 g COVNM / hl de bière [1169]. (o

##### Production d'alcools

Pour les eaux de vie par fermentation de fruits, des pertes d'éthanol par entraînement par le CO<sub>2</sub> à la production lors de la fermentation (0.3% d'alcool pur produit) ainsi qu'au stockage des alcools de fruits par évaporation (à hauteur de 15,5% d'alcool pur produit) ont lieu : les émissions de COVNM sont estimées à partir d'un facteur d'émission déduit de 12 640 g COVNM/hl d'alcool produit [1062]. Pour les eaux de vie de vin, les pertes d'éthanol sont estimées à 3 ou 4% de l'alcool initial ; le facteur d'émission déduit est de 13 720 g COVNM/hl d'alcool. Pour les autres alcools, les facteurs proviennent du guide EMEP EEA 2019 [1169] : il est de 11 250 g COVNM/hl pour les whiskies et le rhum (moyenne obtenue issue des facteurs d'émission de 7,5 et 15 kg/hl fournis par EMEP) ; de 15 000 g COVNM/hl pour les gin & vodka.

##### Production de sucre

Les émissions de COVNM sont estimées à partir d'informations transmises par des acteurs de la profession [526] qui ont permis d'estimer un facteur d'émission de 103 g COVNM / tonne de sucre. Fumage de viande

Les émissions de COVNM sont estimées grâce à un facteur d'émission de 300 g COVNM / tonne de viande fumée fourni par le guide EMEP EEA 2019 [1169].

#### **Emissions de CO**

Les émissions de CO du fumage de viande sont estimées grâce à un facteur d'émission de 700 g CO / tonne de viande fumée fourni par l'OFEFP [42].

#### Emissions de particules (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>)

##### Production de bière

Le facteur d'émission pour les TSP est pris par défaut identique à celui des PM<sub>10</sub> fourni par le TNO [79]. Il est de 0,0425 g TSP/hl de bière. Les émissions de PM<sub>10</sub> représentent donc 100% des TSP et les PM<sub>2,5</sub> sont estimées à 20% des TSP [79].

#### Production de sucre

Les émissions de TSP sont estimées au moyen d'un facteur d'émission fourni par l'OFEFP [68] de 600 g TSP/t de sucre. Les émissions de PM<sub>10</sub> représentent 86% des TSP [68]. Aucune donnée n'est disponible pour l'estimation des PM<sub>2,5</sub>, qui sont supposées nulles.

#### Production de farine

Les émissions de TSP sont estimées au moyen d'un facteur d'émission fourni par l'OFEFP [68] de 160 g TSP/t de farine. Les émissions de PM<sub>10</sub> représentent 20% des TSP [68]. Aucune donnée n'est disponible pour l'estimation des PM<sub>2,5</sub>, qui sont supposées nulles.

#### Manutention de céréales

Les facteurs d'émissions de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont issus de mesures réalisées par l'INERIS dans le cadre du projet CORTEA EMICER [699]. Ces facteurs d'émission sont différenciés en fonction du type d'opérations de manutention, ils sont pondérés par leur temps de parcours moyen [699] et donnent respectivement 61 g /tonne et 2,4 g /tonne de céréales collectée. Les facteurs d'émission de TSP sont déduits des FE de PM<sub>10</sub> et de la granulométrie [699], ils sont évalués à 111 g / tonne de céréales collectée.

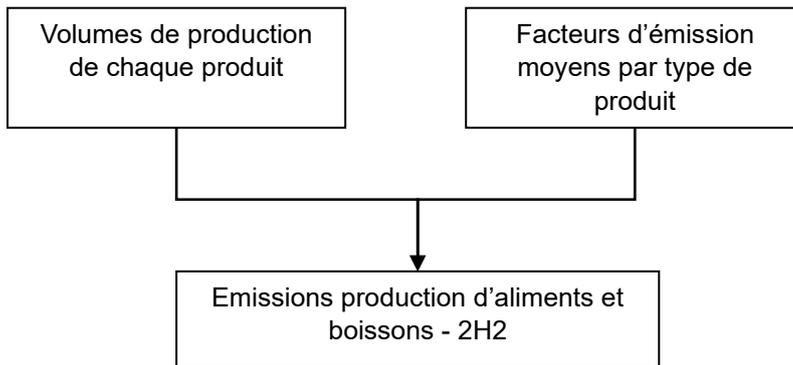
#### Fumage de viande

Les émissions de TSP sont estimées au moyen d'un facteur d'émission fourni par l'OFEFP [42] de 1 000 g TSP/tonne de viande fumée. Ces émissions sont essentiellement composées de particules fines, ainsi les émissions de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont estimées équivalentes aux émissions de TSP [68].

#### ***Dioxines et furannes (PCDD-F)***

Seule l'activité de fumage de viande est émettrice de dioxines dans la catégorie des industries agro-alimentaires. Les émissions de dioxines sont estimées au moyen d'un facteur d'émission de 6 µg / tonne de viande fumée issu de l'OFEFP [68].

## Logigramme du processus d'estimation des émissions.



### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### Production de sucre

La production de chaux dans le secteur du raffinage en sucrerie (auto-producteur de chaux) émet des émissions de CO<sub>2</sub>. L'estimation de la quantité de CaCO<sub>3</sub> 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<sub>3</sub> se retrouve dans les écumes de sucrerie : un rendement de 98 % de récupération des carbonates de la roche dans les écumes est pris en compte, soit 2 % de pertes. Ce captage des émissions de CO<sub>2</sub> est indiqué pour information dans les tables CRF, au niveau du secteur 2H2.

Les émissions de CO<sub>2</sub> nettes venant de la décarbonatation, émises au niveau des sites de raffinage de sucre (= brutes-CO<sub>2</sub> capté) sont incluses dans le secteur 2A2 (production de chaux) et correspondent donc à 2 % des carbonates utilisés dans le process.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
06/02/2024	RK	14/02/2024	JV

## FABRICATION D'ACCUMULATEURS

Cette section concerne les émissions de plomb liées à la fabrication d'accumulateurs.

La partie relative aux émissions provenant de la combustion dans les installations de production est traitée dans la section générale 1A2.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	2H2
CEE-NU / NFR	2H3
SNAPc (extension CITEPA)	040615
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Quantité de Pb utilisée pour la fabrication d'accumulateurs	Spécifiques de chaque installation considérée individuellement

### Niveau de méthode :

Rang 2.

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [417] FEDEM - Communication de données annuelles relatives à la consommation de plomb
- [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
- [744] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016, Part B section 2C Aluminium production
- [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

### Caractéristiques de la catégorie (IIR) :

Depuis 2013, il n'existe plus que 2 usines de fabrication d'accumulateurs au plomb en France. A noter une évolution importante de cet effectif à la suite de la fermeture de 3 usines en 2009, et à la fermeture d'une quatrième en 2013.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Métaux lourds (ML)**

Les émissions de plomb proviennent directement des déclarations annuelles des industriels [19]. Les facteurs d'émission sont déduits des émissions et des quantités de Pb utilisées fournies par la fédération du secteur : FEDEM [417] puis A3M [712] à partir de 2014.

A partir de 2013, compte tenu du nombre limité de sites, le facteur d'émission est confidentiel.

Les évolutions des émissions suivent les progrès des industriels en termes d'équipements de dépollution ainsi que la part relative annuelle de la production de chacun des sites.

#### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Les émissions de poussières totales proviennent des déclarations annuelles des industriels [19] à partir de 2004. Dans le cas où la donnée n'est pas disponible dans les déclarations annuelles, les émissions de poussières sont considérées à minima comme égales aux émissions de plomb puisqu'il est considéré que tout le plomb est émis sous forme particulaire.

Avant 2004, les émissions de poussières sont calculées à partir du facteur émission de 2004 et d'une corrélation avec l'évolution du facteur d'émission du plomb sur la période 1990 - 2004.

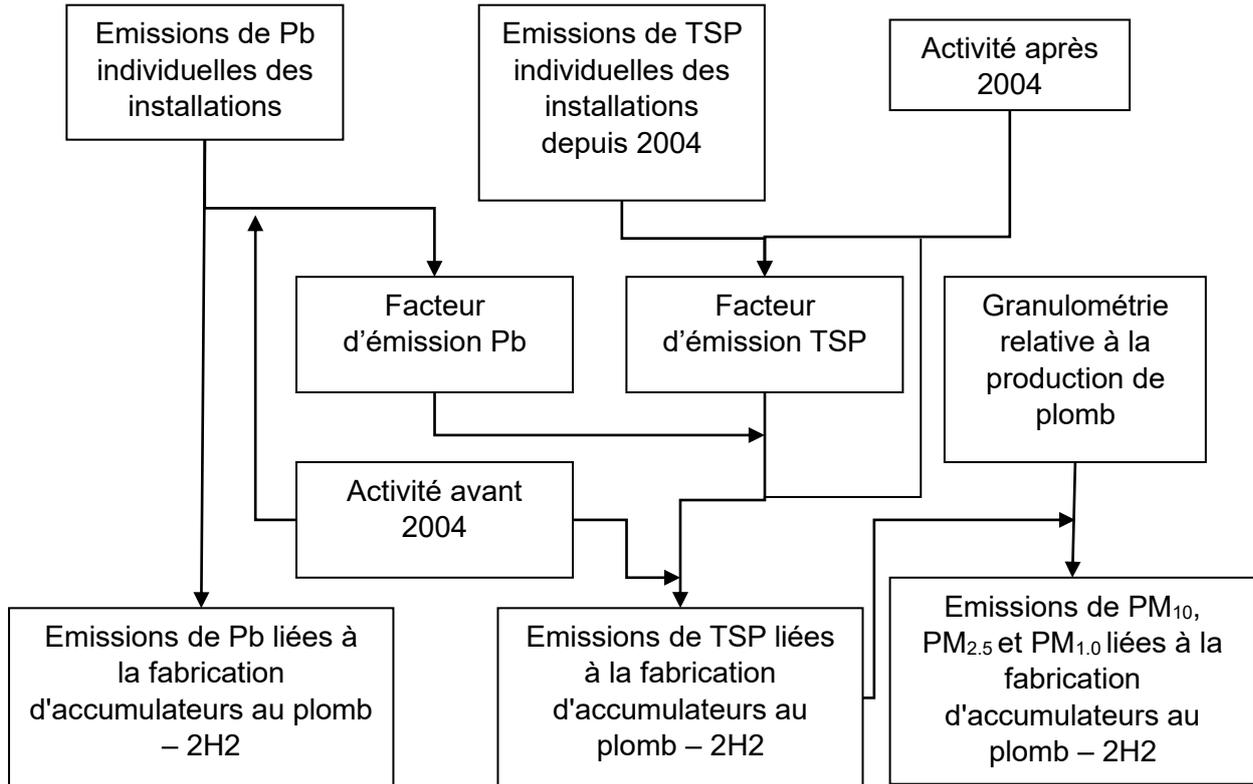
#### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

La granulométrie n'est pas indiquée dans les déclarations annuelles et il existe peu d'informations spécifiques à la fabrication d'accumulateurs dans la littérature. Les émissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub> sont déterminées à partir des émissions de TSP et de ratios granulométriques calculés à partir de la section 2C5 du Guidebook EMEP/EEA 2019 relative à la production du plomb. Ces émissions représentent uniquement les PM filtrables (excluant ainsi toute fraction de PM condensables) [1079].

#### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>, ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA 2019 [1079]. La valeur retenue est la même que celle utilisée dans la section relative à la Production d'aluminium primaire et secondaire.

## Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
10/02/2021	RB	11/02/2021	JV

## EQUIPEMENT DE REFRIGERATION

Ce secteur couvre les émissions des fluides frigorigènes autres que les halocarbures (ces derniers sont traités dans la section « 2F1\_refrigeration air conditioning ») utilisés dans les équipements de réfrigération et d'air conditionné. L'ammoniac est le principal fluide frigorigène pris en compte dans cette catégorie, utilisé essentiellement en industrie agroalimentaire en France. Les hydrocarbures sont également pris en compte, en tant que COVNM

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	Hors champs
CEE-NU / NFR	2.H.3
SNAPc (extension CITEPA)	06.05.03
CE / directive IED	Hors champs
CE / E-PRTR	Hors champs
CE / directive GIC	Hors champs

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Banque cumulée de fluides	Spécifique à chaque secteur

### Niveau de méthode :

Rang 2a.

### Références utilisées :

[207] Centre Efficacité énergétique des Systèmes de l'Ecole des Mines de Paris - Inventaire annuel des émissions des fluides frigorigènes en France

### Caractéristiques de la catégorie :

Trois types d'activité peuvent être considérées :

- le marché neuf de fluides pour les équipements mis sur le marché, auquel se rapportent les émissions à la charge ;
- la banque, correspondant aux quantités totales de fluides frigorigènes contenues dans les équipements de réfrigération formant le parc d'installations en France, à laquelle se rapportent les émissions fugitives ;
- les quantités contenues dans les équipements parvenant en fin de vie, auxquelles se rapportent les émissions de fin de vie.

Jusqu'à présent, c'est la banque, considérée comme la plus significative, qui constitue l'activité principale. Il est considéré la banque de l'ensemble des sous-secteurs du froid et de la climatisation qui contiennent des réfrigérants autres que les HFC. Les fluides

frigorigènes pris en compte sont ici l'ammoniac et l'isobutane. Dans la prochaine édition, le propane sera également pris en compte.

L'ammoniac est principalement utilisé dans les applications industrielles du froid comme l'agroalimentaire ou les entrepôts frigorifiques.

L'isobutane est, quant à lui, utilisé dans la réfrigération domestique et dans les petits équipements de froid commercial et de climatisation fixe.

Le propane est également utilisé dans certains équipements hermétiques de froid commercial et climatiseurs portables ainsi que les pompes à chaleur.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants :

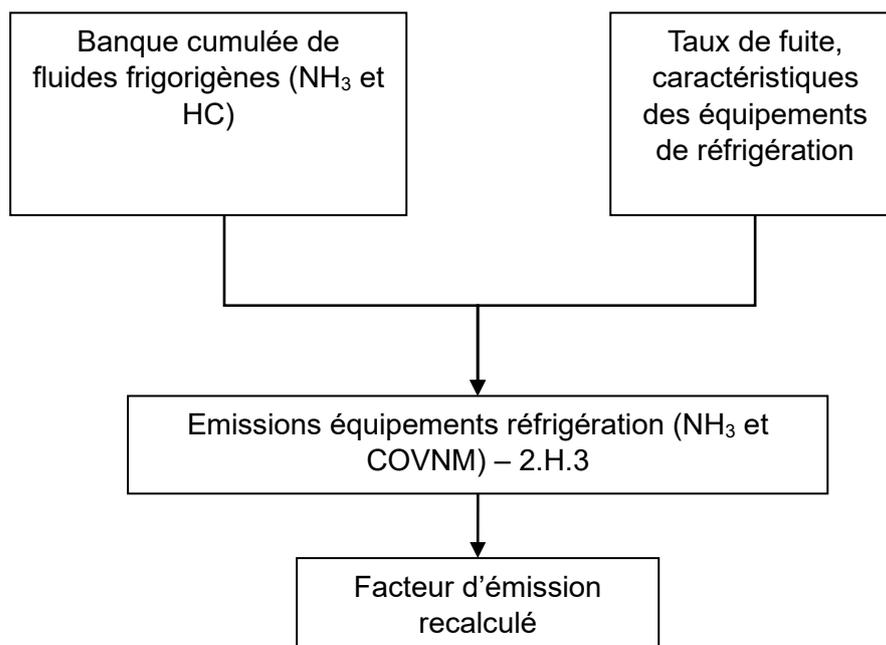
#### *Emissions de NH<sub>3</sub> et COVNM*

La méthode de calcul utilisée est expliquée au chapitre 2F1 pour le froid domestique, le froid commercial, le froid industriel et la climatisation fixe.

Les émissions totales incluent les émissions à la charge des équipements, lors de leur installation, les émissions fugitives, au cours de la vie de l'équipement et les émissions de fin de vie, lors du démantèlement.

Il a été choisi de rapporter ces émissions à l'activité la plus significative, la banque, correspondant aux quantités totales contenues dans les équipements.

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



# Agriculture

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
13/02/2024	AnD/JH	16/02/2024	EM

## AGRICULTURE

Cette section concerne une grande partie des émissions liées aux activités agricoles. Elle couvre les émissions liées à l'élevage (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM, PM), les émissions liées à la fertilisation azotée (N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>), les émissions liées à l'utilisation de pesticides (HCB), les émissions liées aux rizières (CH<sub>4</sub>), les émissions liées au travail du sol (PM) et les émissions liées au brûlage des résidus agricoles (nombreux polluants). Elle comprend également les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'épandage d'engrais sous forme d'urée ou contenant du carbone (calcium ammonium nitrate) et d'amendements basiques sur les sols agricoles.

Les différents postes d'émission du secteur agricole décrits dans cette partie sont listés ci-dessous et présentés sur le schéma suivant :

- Emissions liées à l'élevage :
  - Fermentation entérique : CH<sub>4</sub>
  - Bâtiments d'élevage : CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM, PM
  - Stockage fumier/lisier : CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM
  - Epandage fumier/lisier : N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM
  - Pâture : CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM
- Emissions liées à la fertilisation (autre que l'épandage des fumiers/lisiers précité) :
  - Fertilisation azotée minérale : N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>
  - Autre fertilisation organique comprenant les boues, les composts, les digestats et les déjections importées : N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>
- Emissions liées à l'utilisation de pesticides : HCB
- Emissions liées aux rizières : CH<sub>4</sub>
- Emissions liées au travail du sol : PM
- Emissions liées au brûlage des résidus de récolte : nombreux polluants
- Emissions de CO<sub>2</sub> liées à l'épandage d'urée, d'engrais contenant du carbone (calcium ammonium nitrate, notés CAN) et d'amendements basiques (chaulage).

**NB** : le calcul des émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O liées à la gestion des déjections selon les lignes directrices du Giec 2019 regroupe les postes bâtiment et stockage. Ils sont présentés séparément sur le schéma ci-dessous mais les calculs sont effectués en regroupant ces deux postes (voir section 3.B Gestion des déjections).

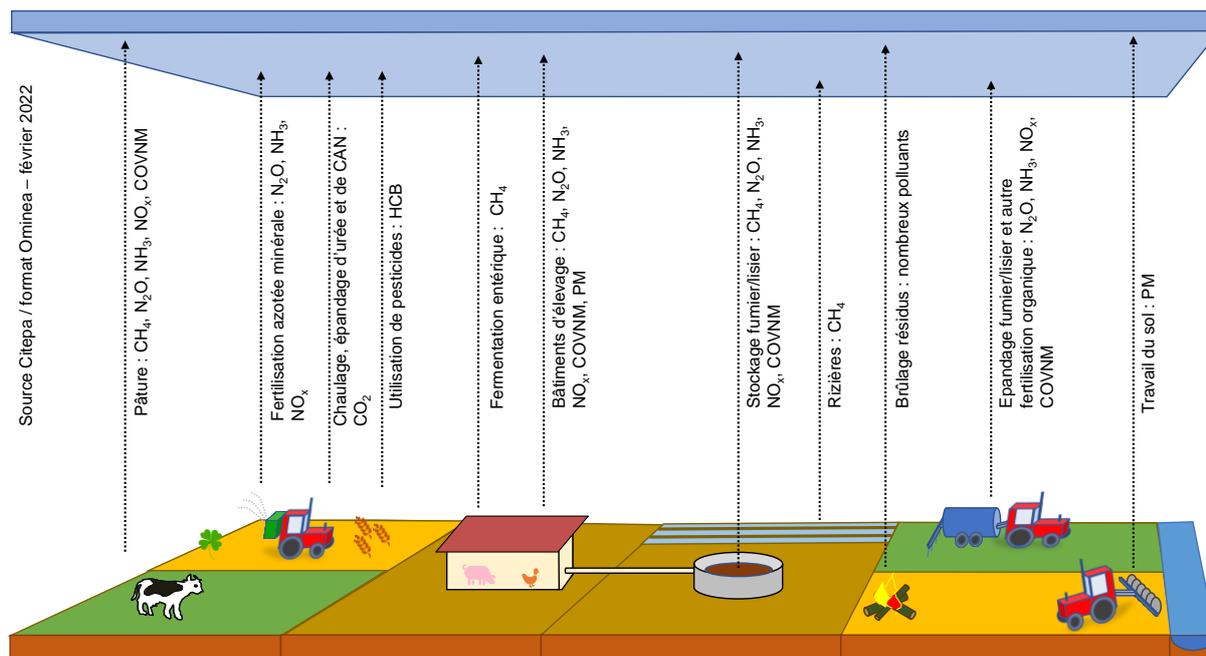


Figure 1 : Postes d'émission et polluants associés en agriculture

Cette section exclut :

- les questions relatives au carbone (des sols et de la biomasse) qui sont traitées dans le secteur UTCATF,
- les émissions liées à l'utilisation d'énergie du secteur agricole, qui sont prises en compte dans le secteur énergie.

Pour un maximum de clarté, cette section présente une partie commune détaillée sur la caractérisation de l'élevage et des cultures car ces données impactent différentes sources d'émission traitées séparément dans les inventaires.

Pour l'édition 2024, l'ensemble des calculs pour les gaz à effet de serre sur la partie agricole prennent en compte le raffinement 2019 de lignes directrices du Giec 2006.

## Références utilisées :

- [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.
- [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
- [410] SSP - AGRESTE. Données téléchargeables sur :  
<http://agreste.agriculture.gouv.fr/page-d-accueil/article/agreste-donnees-en-ligne>
- [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
- [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
- [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
- [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
- [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
- [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.
- [786] Evaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. RMT Elevages et Environnement, 2015, Paris, 26 pages.
- [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
- [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.
- [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.

- [1138] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, Section 3B Manure Management.
- [1139] 1788 - Inventaire régional Polynésie française, Citepa. 2020.
- [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.
- [1229] 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use
- [1230] Levasseur P., Soulier A., Lagrange H., Trochard R., Foray S., Charpiot A., Ponchant P. et Blazy V. « Valorisation agronomique des effluents d'élevages de porcs, bovins, ovins, caprins, volailles et lapins. RMT Elevage et Environnement », 2019.
- [1231] Martin-Rosset, W., Vermorel, M., Fleurance, G. et Doligez, P., « Evaluation et prévision de différentes sources de pollution issues de l'élevage et de l'utilisation du cheval. 39ème Journée de la Recherche Equine », 2013.
- [1236] Bilans de fonctionnement des unités de méthanisation en Auvergne- Rhône-Alpes
- [1237] AILE, Etat des lieux de la méthanisation en Bretagne

[1238] Schéma Régional Biomasse Grand Est, Mars 2021, v9 - Ademe, Préfecture Grand Est, Solagro, Indiggo, Biomasse conseil

[1239] AREC, Bilan de fonctionnement 2020 des unités de méthanisation en Ile de France - Rapport complet - février 2022

[1240] Chambre d'agriculture de Normandie, 2021, Qualité agronomique des digestats en Normandie, Guide technique, Décembre 2021.

[1241] DREAL Pays de la Loire, Analyse des bilans de fonctionnement 2019 des installations de la filière biogaz en Pays de la Loire

[1249] Recensement agricole 2020. Données communiquées par le MASA fin 2022, en attente de publication.

[1250] Références d'excrétions azotées Itavi, mise à jour 2021, en cours de publication.

[1251] CNIEL, 2018. Le pâturage des vaches laitières françaises - Etat des lieux de la pratique pour l'ensemble des territoires français.

## Plan de la section :

Système PACRETE pour l'élevage

La réforme des régions françaises

Cheptels

*Mise en cohérence des séries statistiques (de 1989 à 2015)*

*Mise en cohérence des séries statistiques (de 2015 à l'année en cours)*

*Cas particulier des porcins*

*Cheptels utilisés dans l'inventaire français*

*Evolution des cheptels sur la période*

Systèmes de gestion des déjections animales - Les enquêtes

Systèmes de gestion des déjections animales - Traitement des données pour les bovins, porcins, ovins et caprins

*Définition de capacités*

*Définition des types de sol*

*Mise en cohérence des séries*

*Temps de présence au bâtiment*

*Quantités de paille apportées*

Systèmes de gestion des déjections animales - Traitement des données pour les équins

*Temps de présence au bâtiment*

*Mode de gestion des déjections*

*Quantités de paille apportées*

Systèmes de gestion des déjections animales - Traitement des données pour les volailles

*Temps de présence au bâtiment*

*Mode de gestion des déjections*

*Quantités de paille apportées*

Systèmes de gestion des déjections animales - Traitement des données pour les lapines

*Temps de présence au bâtiment*

*Mode de gestion des déjections*

*Quantités de paille apportées*

Systèmes de gestion des déjections animales - Traitement des données pour les cervidés d'élevage

Systèmes de gestion des déjections animales - Les résultats obtenus

Méthanisation agricole

Excrétions azotées

*Pour les bovins*

*Pour les porcins*

*Pour les volailles*

*Pour les caprins et les ovins*

*Pour les équins*

*Pour les lapines reproductrices*

*Pour les cervidés d'élevage*

Zones climatiques

Surfaces, productions et rendements des cultures

Estimation des apports d'azote des cultures

Evolution des surfaces et productions

## Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) : Système PACRETE pour l'élevage

L'estimation précise des émissions liées à l'élevage est un travail complexe qui nécessite notamment de compiler beaucoup d'informations issues de sources différentes. Un système a donc été mis en place au niveau des inventaires français pour gérer au mieux ces calculs : le système PACRETE (Programme Access pour le Calcul Régionalisé des Emissions aTmosphériques de l'Elevage). Le système PACRETE permet de rassembler des données régionales, issues de différentes sources, sur les effectifs animaux, l'alimentation, les types de bâtiments d'élevage, les pratiques d'épandage des effluents, le temps passé au pâturage, etc. Il permet ensuite de calculer, au niveau régional et de manière cohérente, l'ensemble des émissions liées à l'élevage en métropole. Les explications suivantes font partie intégrante de ce système.

*A noter : le système PACRETE est utilisé uniquement pour la France métropolitaine. Pour l'Outre-mer, les méthodes appliquées sont les mêmes mais les calculs sont effectués directement sous Excel.*

### La réforme des régions françaises

En 2015, la division territoriale de la France a été réformée, prenant effet à compter du 1<sup>er</sup> 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 28 : 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
53	Bretagne	53	Bretagne
75	Nouvelle-Aquitaine	54	Poitou-Charentes
		72	Aquitaine
		74	Limousin
76	Occitanie	91	Languedoc-Roussillon
		73	Midi-Pyrénées
84	Auvergne-Rhône-Alpes	82	Rhône-Alpes
		83	Auvergne
93	Provence-Alpes-Côte d'Azur	93	Provence-Alpes-Côte d'Azur
94	Corse	94	Corse

Les calculs d'inventaire dans le système PACRETE sont effectués au niveau des anciennes régions, présentant des périmètres plus petits ce qui permet d'avoir des données à une échelle plus fine. En revanche, cela implique parfois de retraiter les données d'activité qui, pour certaines d'entre elles, sont désormais disponibles uniquement au périmètre agrégé des nouvelles régions.

### Cheptels

Les données de cheptels utilisées dans le cadre de l'inventaire national proviennent de la Statistique Agricole Annuelle (SAA) publiée par le SSP [410], service statistique du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA). Cette statistique est établie chaque année grâce à des sondages aléatoires sur un échantillon représentatif, et complétée grâce aux informations fournies par les recensements agricoles qui ont lieu sur un pas de temps plus long, tous les 10 ans en France, le dernier ayant eu lieu en 2020. Des sources de données additionnelles sont disponibles pour l'Outre-mer [400, 401, 1037 à 1047, 1139]. Il est important de préciser que, à l'instar de beaucoup de statistiques, le système statistique agricole a évolué au cours du temps. Un travail de mise en cohérence a été effectué, de manière à garantir une catégorisation stable depuis 1980, comme requis par les exigences de rapportage.

Le schéma ci-dessous représente les différents traitements effectués sur les données de la statistique agricole pour obtenir des séries cohérentes sur la période :

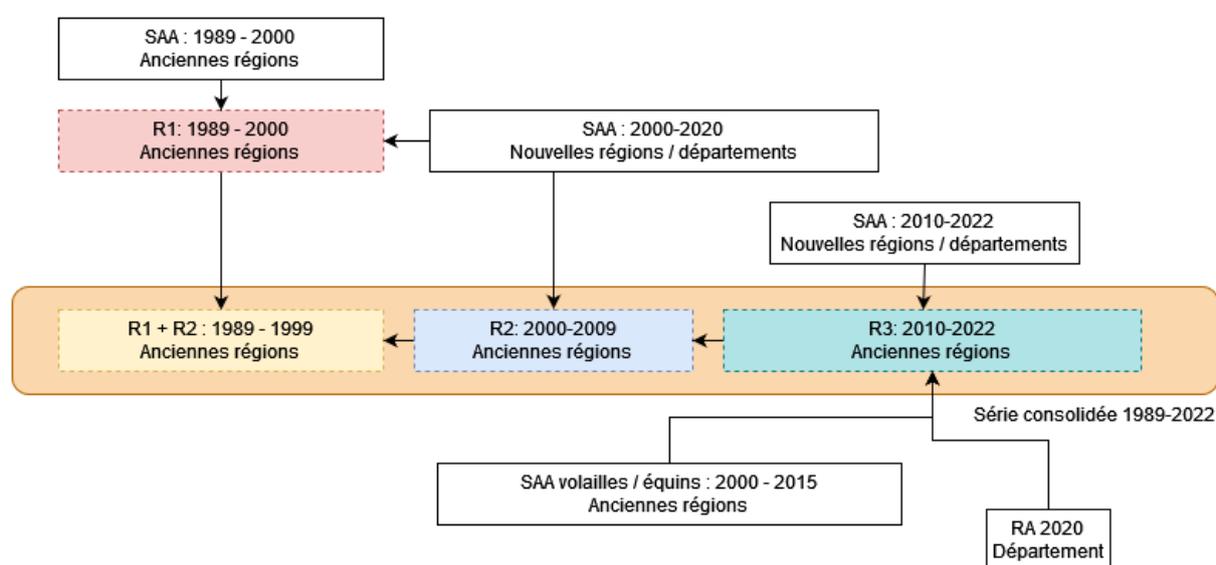


Figure 2 : Récapitulatif des méthodes d'ajustement de la statistique agricole annuelle (SAA)

Les données d'effectifs animaux sont disponibles sous la forme de trois séries : de 1989 à 2000 (jeu « historique 1 »), de 2000 à 2020 (« jeu historique 2 ») et de 2010 à 2022 (jeu « récent »).

Les trois jeux de données sont liés entre eux selon l'année de recouvrement correspondant à une année de recensement agricole (2000, 2010). Plusieurs types de retraitements peuvent être effectués afin de reconstituer des séries statistiques cohérentes sans rupture de série, de périmètre géographique ou de catégorie animale.

R1 : Mise en cohérence des catégories animales

Un premier retraitement a été effectué dans les cas où les catégorisations animales n'étaient pas identiques entre les deux séries 1989-2000 et 2000-2020, correspondant au « Retraitement R1 » sur le schéma ci-dessus. Si une catégorie animale plus détaillée est disponible dans le jeu de données le plus proche (par exemple, pour les bovins autres que

les vaches laitières et les vaches nourrices, la série historique ne donne qu'une valeur "ensemble espèce bovine", tandis que le jeu 2000-2020 fournit 13 catégories bovines différentes hors vaches laitières et nourrices), la répartition des différentes catégories animales de l'année 2000 est appliquée à la valeur agrégée disponible de 1989 à 1999.

### *R2 : Mise en cohérence des séries temporelles*

Un second retraitement, nommé « retraitement R2 » a été effectué pour s'assurer de la cohérence des séries sur la période. Pour une même catégorie animale, à chaque année pivot (2000,2010) si le décalage entre l'ancienne et la nouvelle série est supérieur à 10% le jeu de donnée le plus ancien est corrigé sur la base de l'écart observé l'année pivot. Si l'écart entre l'ancienne et la nouvelle série est inférieur à 10% aucun retraitement n'est effectué et la série historique est conservée.

### *R3 : Mise en cohérence territoriale*

Depuis 2016, le nombre de régions métropolitaines est passé de 22 à 13. Des nouvelles séries statistiques ont été publiées suite à cette modification, couvrant la période de l'année 2000 à l'année en cours. Les catégorisations proposées et les données d'effectifs dans ces nouvelles séries sont identiques à celles de la période 2000-2015. En revanche, le périmètre géographique change.

Les données pour les bovins, porcins, ovins et caprins sont disponibles par département (échelle territoriale en dessous de celle de la région), ce qui permet de reconstituer les anciennes régions, en agrégeant les départements pertinents. En revanche, pour les équins, volailles et lapins, les données ne sont disponibles qu'au niveau des nouvelles régions. Pour ces catégories, un retraitement, nommé « Retraitement R3 » sur le schéma ci-dessus, a été effectué sur la base des données des anciennes séries SAA (année 2015) ainsi que des données du recensement agricole de 2020. La répartition du cheptel selon les anciennes régions évolue entre 2015 et 2020 pour tendre vers la répartition du recensement agricole puis reste stable entre 2020 et 2022. A noter que certaines régions sont restées stables suite à la réforme territoriale, notamment la Bretagne et les Pays de la Loire, ce dernier retraitement a donc un impact relativement limité sur les calculs d'émission qui suivent.

### *Cas particulier des porcins :*

Pour les porcins, cinq catégories sont distinguées dans la SAA : porcelets, jeunes porcs de 20 à moins de 50kg, porcs à l'engrais de 50kg et plus, truies de 50kg et plus, et verrats de 50kg et plus. Un travail de vérification de la cohérence entre effectifs et productions a été effectué, en comparant la chaîne d'effectifs « porcelets - jeunes porcs de 20 à moins de 50kg - porcs à l'engrais de 50kg et plus » avec les données de productions fournies par la SAA.

Suite à cette analyse, il est apparu que la catégorie « porcelets » proposée dans la SAA pouvait être surestimée, car la statistique est évaluée à un moment précis de l'année, moment durant lequel une catégorie peut être plus représentée qu'une autre du fait des durées différentes passées par stade d'élevage. Le retraitement suivant a été effectué pour refléter au mieux la situation réelle de l'élevage porcin :

- La catégorisation proposée par la SAA (porcelets, jeunes porcs de 20 à moins de 50kg, porcs à l'engrais de 50kg et plus) a été abandonnée au profit de la suivante, jugée plus pertinente pour l'application, par la suite, des méthodes d'estimation des émissions : porcelets non sevrés (<8kg), porcelets post sevrés (entre 8 et 30kg), porcs à l'engrais supérieur à 30kg.
- Les données d'effectifs des trois anciennes catégories de la SAA ont été sommées, puis réparties au prorata du temps passé par stade, méthode jugée plus fiable pour répartir les effectifs selon les nouvelles catégories définies. Ces temps passés par stade sont évalués à partir d'un outil développé par l'Institut du porc (IFIP) [759] permettant d'obtenir des courbes de croissance selon les poids d'entrée, de sortie et le gain moyen quotidien. Ces trois paramètres, qui varient depuis 1990, sont tirés des documents de Gestion Technico-économiques qui étaient publiés chaque année par l'IFIP jusqu'en 2016 [505]. Depuis, ces données ne sont plus publiques. Les données pour 2020 à 2022 ont été fournies directement par l'IFIP au Citepa, permettant d'estimer les années manquantes en interpolant les valeurs entre 2016 et 2020.

*A noter : la part du temps passé par stade ne varie pas fortement au cours du temps. Le temps passé au stade porcelets non sevrés (<8kg) sur la période varie entre 13,2% et 15,2%, celui passé au stade porcelets post sevrés (entre 8 et 30kg) varie entre 25,5% et 29%, et celui passé au stade porcs à l'engrais supérieur à 30kg varie entre 56,0% et 61,3%.*

Tableau 29 : Correspondances entre les catégories SAA et les catégories de l'inventaire pour les porcins

		Catégorisation choisie pour les inventaires*				
		Porcelets non sevrés (<8kg)	Porcelets post sevrés (entre 8 et 30kg)	Porcs à l'engrais supérieur à 30kg	Truies de 50kg et plus	Verrats de 50kg et plus
Catégorisation disponible dans la SAA	Porcelets	13.5%	25.9%	60.6%		
	Jeunes porcs de 20 à moins de 50kg					
	Porcs à l'engrais de 50kg et plus					
	Truies de 50kg et plus			100%		
	Verrats de 50kg et plus					100%

\* Les pourcentages d'allocation varient légèrement en fonction de l'année, ici sont présentés les % de 2022

Source Citepa / format Ominea février 2023

Graph\_Ominea\_3.xls/Repart\_Porcins

Tableau 30 : Evolution du cheptel porcin détaillée par catégories fines (Métropole uniquement)

	Porcelets non sevrés (<8kg)	Porcelets post sevrés (entre 8 et 30kg)	Porcs à l'engrais supérieur à 30kg	Truies de 50kg et plus	Verrats de 50kg et plus
1990	1 656 368	3 165 714	6 155 534	1 211 482	64 977
1991	1 685 303	3 203 027	6 220 565	1 250 484	63 419
1992	1 726 208	3 381 927	6 546 366	1 318 557	61 993

1993	1 788 933	3 484 464	6 788 428	1 330 958	58 102
1994	1 850 500	3 486 505	6 995 987	1 353 282	56 618
1995	1 877 752	3 528 967	7 028 417	1 377 027	51 373
1996	1 884 547	3 657 137	7 342 192	1 422 397	48 626
1997	1 928 494	3 670 947	7 480 553	1 461 480	46 149
1998	1 956 664	3 670 524	7 672 421	1 445 856	45 451
1999	1 969 124	3 737 367	7 607 528	1 416 732	41 242
2000	2 001 455	3 792 497	7 699 389	1 416 393	41 070
2001	2 033 048	3 853 244	8 061 568	1 377 798	37 269
2002	2 028 444	3 771 033	8 126 937	1 347 839	34 407
2003	1 998 738	3 723 174	8 062 692	1 303 733	30 850
2004	1 970 532	3 735 046	7 971 266	1 266 606	28 557
2005	1 947 515	3 640 946	7 974 444	1 243 800	26 435
2006	1 908 341	3 612 018	7 944 803	1 228 652	22 492
2007	1 860 148	3 627 126	7 985 985	1 197 926	21 158
2008	1 860 920	3 635 164	7 927 273	1 170 533	21 693
2009	1 841 642	3 513 052	7 836 906	1 148 992	20 135
2010	1 822 851	3 515 122	7 721 556	1 105 064	19 257
2011	1 785 145	3 441 114	7 576 797	1 091 287	18 089
2012	1 773 533	3 377 961	7 493 490	1 059 195	17 562
2013	1 731 858	3 279 945	7 404 291	1 029 961	16 724
2014	1 709 691	3 234 647	7 343 007	1 022 297	15 926
2015	1 634 759	3 169 759	7 390 641	1 003 739	15 486
2016	1 569 098	3 035 191	7 110 702	971 492	14 501
2017	1 607 328	3 105 320	7 321 063	980 181	14 405
2018	1 652 443	3 188 590	7 564 792	999 538	14 142
2019	1 635 379	3 151 856	7 524 604	960 290	13 138
2020	1 634 563	3 146 517	7 558 836	952 435	13 199
2021	1 588 766	3 063 858	7 295 927	919 580	12 111
2022	1 516 015	2 920 858	6 826 656	861 651	11 911

### 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 31 : Catégories et sous-catégories de l'inventaire

	Vaches laitières	
	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	
Autres bovins	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
Mules et ânes	Chevaux lourds
	Anes, mulets, bardots
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
	Canards à rôtir
	Dindes et dindons (au 1er octobre)
	Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)
	Pintades
	Cailles d'élevage
Autres	Lapines reproductrices
	Cervidés d'élevage ( <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 32 : Cheptels bovins, porcins, ovins et caprins au périmètre UE sur la période 1990-2022

	Vaches laitières	Autres bovins	Truies	Autres porcins	Ovins	Caprins
1990	5 309 879	16 392 078	1 233 586	11 205 908	11 384 979	1 348 132
1991	5 030 532	16 363 884	1 270 961	11 332 781	11 017 582	1 335 258
1992	4 762 044	16 171 161	1 340 987	11 870 591	10 733 663	1 301 735
1993	4 639 292	16 083 874	1 351 460	12 265 978	10 466 951	1 275 286
1994	4 611 989	16 119 571	1 371 354	12 526 258	10 383 982	1 258 585
1995	4 521 433	16 300 374	1 392 962	12 610 299	10 265 394	1 297 953
1996	4 431 081	16 375 980	1 438 057	13 056 574	10 145 029	1 313 402
1997	4 322 610	16 180 842	1 476 260	13 242 930	9 961 033	1 301 912
1998	4 263 985	16 083 477	1 460 011	13 462 441	9 847 474	1 302 584
1999	4 222 968	16 128 007	1 430 352	13 473 300	9 705 361	1 298 311
2000	4 329 724	17 248 248	1 435 287	13 649 195	9 556 533	1 301 506
2001	4 344 205	17 121 177	1 396 369	14 100 071	9 430 831	1 324 695
2002	4 272 449	16 472 076	1 365 207	14 078 858	9 337 786	1 331 165
2003	4 123 155	15 888 784	1 321 096	13 940 435	9 293 082	1 334 257
2004	4 040 611	15 709 651	1 282 721	13 831 265	9 190 433	1 328 786
2005	3 979 348	15 671 953	1 258 950	13 700 373	9 111 179	1 339 985
2006	3 888 099	15 877 914	1 242 824	13 590 369	8 864 245	1 354 031
2007	3 876 334	16 091 593	1 211 984	13 599 355	8 564 694	1 352 703
2008	3 856 380	16 301 467	1 184 525	13 551 057	8 162 759	1 363 423
2009	3 747 898	16 226 642	1 162 782	13 318 012	8 062 526	1 419 347
2010	3 718 892	15 853 082	1 116 766	13 170 354	7 963 495	1 449 110
2011	3 666 694	15 437 775	1 102 973	12 912 403	7 657 687	1 398 407
2012	3 645 776	15 379 663	1 070 582	12 752 846	7 470 388	1 329 566
2013	3 699 843	15 416 082	1 041 014	12 519 720	7 264 378	1 308 332

2014	3 701 096	15 567 995	1 033 427	12 391 458	7 218 536	1 303 239
2015	3 663 864	15 743 461	1 014 584	12 297 055	7 114 032	1 283 034
2016	3 637 015	15 736 864	982 953	11 820 145	7 106 249	1 269 248
2017	3 596 837	15 357 183	991 388	12 136 969	6 973 305	1 292 851
2018	3 554 660	15 072 332	1 010 241	12 505 026	7 107 718	1 323 847
2019	3 490 810	14 682 470	971 124	12 412 481	7 031 018	1 324 630
2020	3 405 782	14 409 827	963 446	12 438 122	6 965 433	1 414 478
2021	3 327 619	14 013 969	930 740	12 046 033	6 917 298	1 401 759
2022	3 234 674	13 753 689	872 146	11 359 621	6 542 954	1 362 682

Tableau 33 : Cheptels équin, volailles et lapines au périmètre UE sur la période 1990-2021

	Chevaux	Mules et ânes	Poules	Poulets	Autres volailles	Lapines reproductrices
1990	235 318	12 489	74 061 573	126 227 069	68 621 808	2 191 756
1991	239 591	12 988	75 168 189	129 299 796	70 858 183	2 144 889
1992	244 931	13 343	76 919 281	130 260 931	73 535 609	2 172 623
1993	252 324	14 531	75 485 355	136 253 406	75 534 921	2 023 756
1994	258 313	15 248	75 451 771	137 307 051	77 303 051	1 816 856
1995	268 085	16 797	78 118 021	135 300 744	80 811 795	1 685 623
1996	276 112	18 629	78 274 332	141 333 341	81 616 873	1 639 056
1997	287 880	20 029	79 588 791	144 918 741	83 565 593	1 534 056
1998	295 899	21 675	80 832 952	145 718 141	84 668 664	1 481 746
1999	303 599	25 240	79 992 567	137 345 294	84 495 924	1 466 796
2000	318 206	27 942	78 413 667	129 872 215	84 822 577	1 388 732
2001	318 852	29 221	79 910 667	133 350 809	87 893 615	1 339 106
2002	332 219	29 464	79 576 667	131 519 404	85 989 652	1 300 056
2003	333 671	30 692	78 683 667	134 593 999	81 588 689	1 202 056
2004	335 817	30 798	75 725 667	130 575 626	76 938 728	1 184 556
2005	335 902	31 051	75 368 094	128 786 315	73 857 110	1 129 416
2006	332 834	31 140	72 874 520	124 003 004	75 523 492	1 053 556
2007	333 798	30 391	73 854 946	130 961 693	76 355 875	1 061 556
2008	335 189	29 714	75 516 372	134 718 383	74 225 257	1 012 556
2009	336 117	29 851	76 860 798	140 326 072	71 225 639	893 556
2010	337 170	30 642	78 131 224	143 981 761	70 696 021	878 556
2011	338 214	30 842	73 174 817	150 287 114	70 920 782	855 591
2012	331 069	29 367	77 231 410	153 699 466	68 946 543	808 226
2013	326 034	29 005	84 845 003	155 733 819	67 391 304	779 920
2014	324 355	27 143	85 966 596	155 587 171	68 820 065	773 613
2015	317 760	26 647	86 319 188	159 020 524	69 375 826	751 307
2016	305 101	25 452	86 306 781	156 413 876	65 662 586	676 000
2017	302 749	24 637	86 853 892	155 950 909	63 388 443	623 000
2018	300 915	23 825	82 630 002	154 697 942	64 390 300	581 000
2019	296 427	23 089	81 952 113	153 879 974	62 943 156	523 000
2020	293 982	21 316	84 536 223	154 688 007	57 955 013	429 000
2021	294 738	21 198	87 394 732	151 349 407	54 352 351	417 000
2022	292 797	20 971	87 892 753	143 412 807	43 898 551	393 000

Evolution des cheptels sur la période

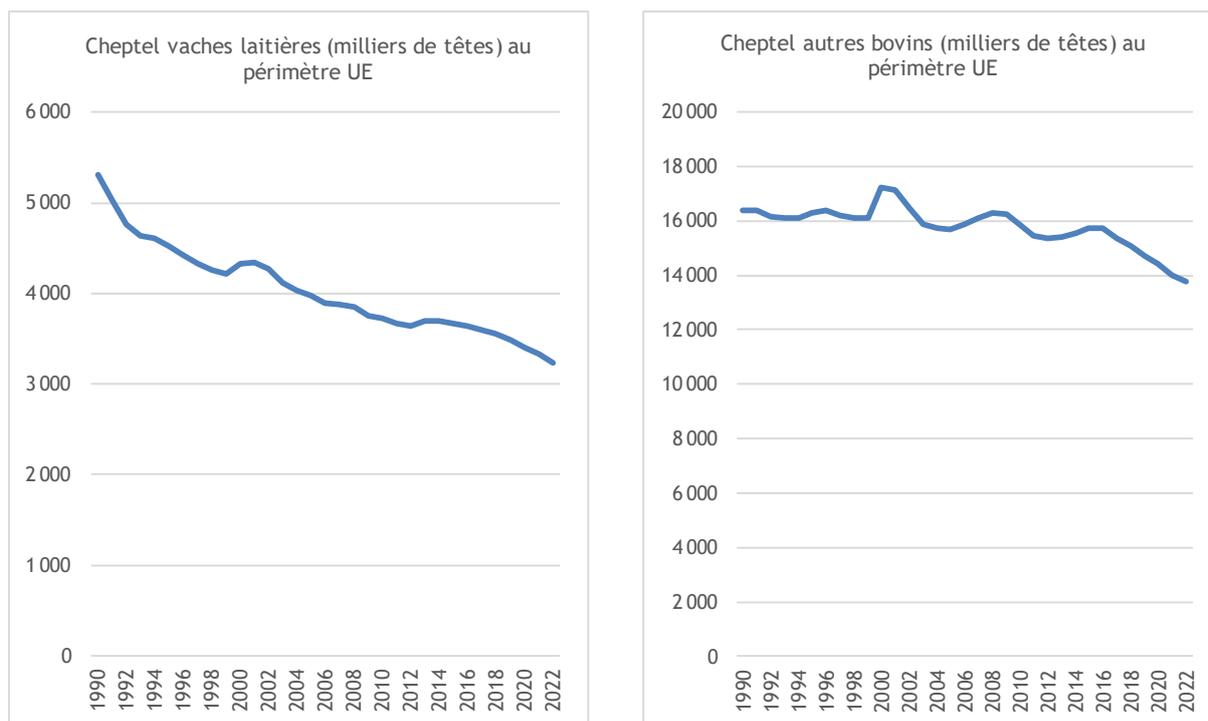


Figure 3 : Evolution des cheptels bovins au périmètre UE

Depuis la mise en place des quotas laitiers en 1984, le cheptel des vaches laitières en France est en diminution progressive. Le troupeau est en revanche de plus en plus performant, ce qui permet le maintien de la production de lait sur la période. D'après l'Idèle, 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, depuis l'année 2000, 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.

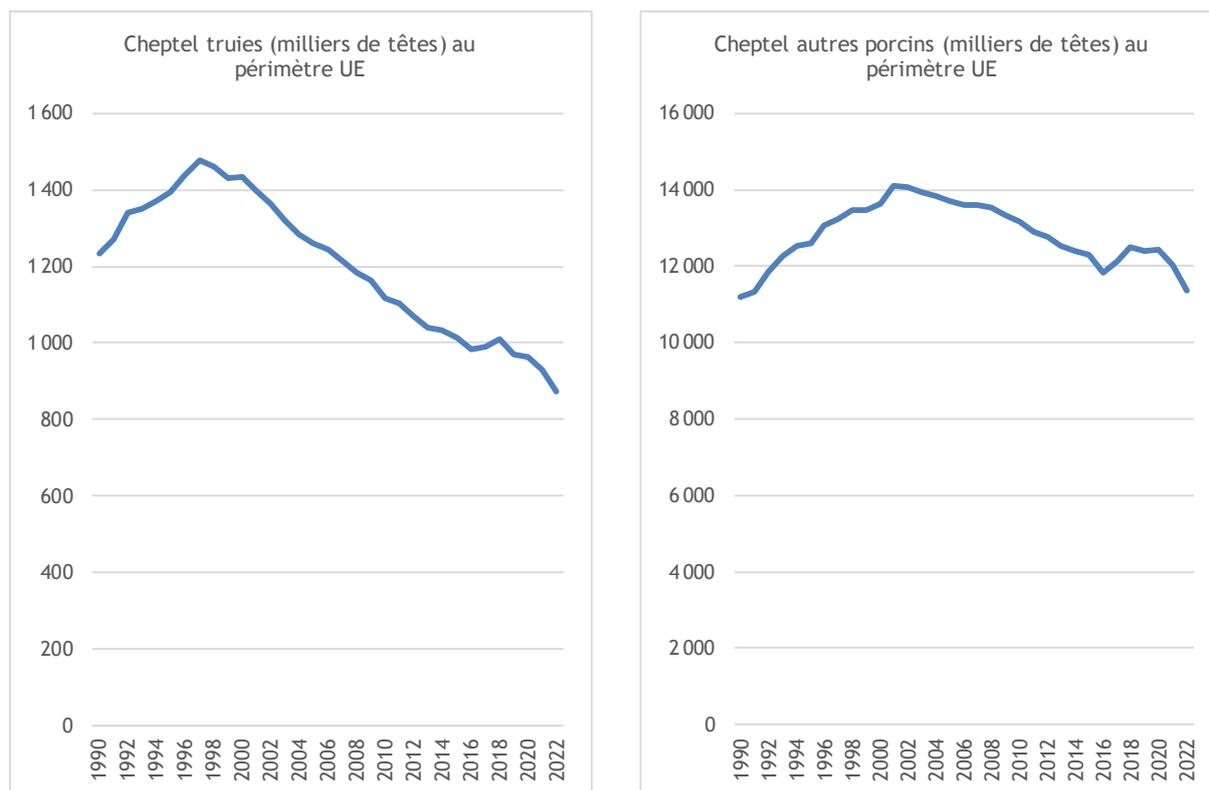


Figure 4 : Evolution des cheptels porcins au périmètre UE

Le début de la période est marqué par une production porcine dynamique, avec la création de nombreux élevages modernes et performants. Cette forte croissance s'est vue stoppée à la fin des années 90, en lien d'après l'IFIP, avec le développement des mesures de protection de l'environnement décidées dans le cadre de l'application de la directive Nitrates. La baisse du cheptel des truies amorcée dès 1998, entraîne une baisse du cheptel des autres porcins qui est cependant amoindrie du fait d'une amélioration de la productivité des truies. Puis, cette diminution des cheptels porcins s'est accélérée à partir de 2008, en lien d'après l'IFIP avec une perte de rentabilité des élevages liée à la flambée des prix des matières premières et d'un prix du porc sous pression avec la fermeture du marché russe (fin 2014) et la croissance de la production en Allemagne et en Espagne. La structure des élevages a beaucoup évolué sur la période, avec la disparition progressive des petits élevages de moins de 100 porcs. Un début de relance s'est amorcé depuis 2017, probablement du fait des bonnes conjonctures de 2016 et 2017 qui ont pu ralentir le rythme des arrêts d'activité, et d'un certain retour à l'investissement noté en 2017. En 2019, le contexte est favorable pour les éleveurs français avec un prix mondial du porc qui s'inscrit en forte hausse en lien avec la fièvre porcine africaine qui a décimé près de la moitié du cheptel chinois. En 2020-2021, la pandémie de Covid-19 perturbe les marchés exports et le débouché restauration hors domicile (RHD). En 2022 le cheptel porcin se replie dans un contexte de forte hausse des coûts de production (guerre en Ukraine) et d'une dégradation du solde commercial (baisse des exportations vers la Chine).

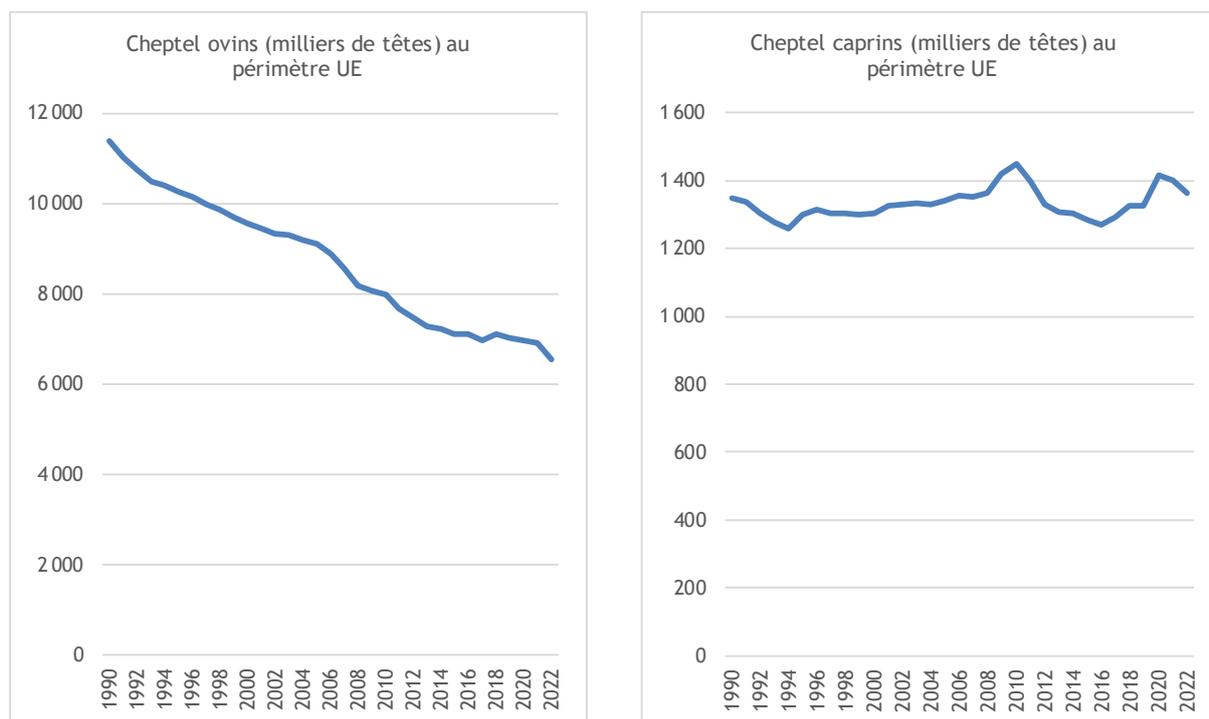


Figure 5 : Evolution des cheptels ovins et caprins au périmètre UE

Le cheptel ovin n'a cessé de baisser depuis 1990. Cette baisse peut s'expliquer par les crises sanitaires subies par la filière (fièvre aphteuse en Grande Bretagne en 2001 ; fièvre catarrhale ovine en 2008-2009), mais aussi par des facteurs économiques et climatiques (sécheresse en 2003 et en 2011 affectant les pâturages, hausse des coûts de l'alimentation, cours de l'agneau plus ou moins élevé). Tout cela pousserait certains éleveurs à privilégier d'autres filières agricoles plus rémunératrices.

Concernant le cheptel caprin, il est relativement stable sur la période. Le pic constaté en 2010 s'explique par la mise en place d'un plan de pérennisation de la filière et d'une reprise de la collecte par les entreprises de transformation. Après ce pic, ces entreprises ont souhaité maîtriser la collecte, 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. Entre 2016 et 2020, le cheptel repart à la hausse du fait d'une amélioration de la conjoncture puis reprend une dynamique baissière dans un contexte de coûts de production élevés (prix de l'aliment, guerre en Ukraine).

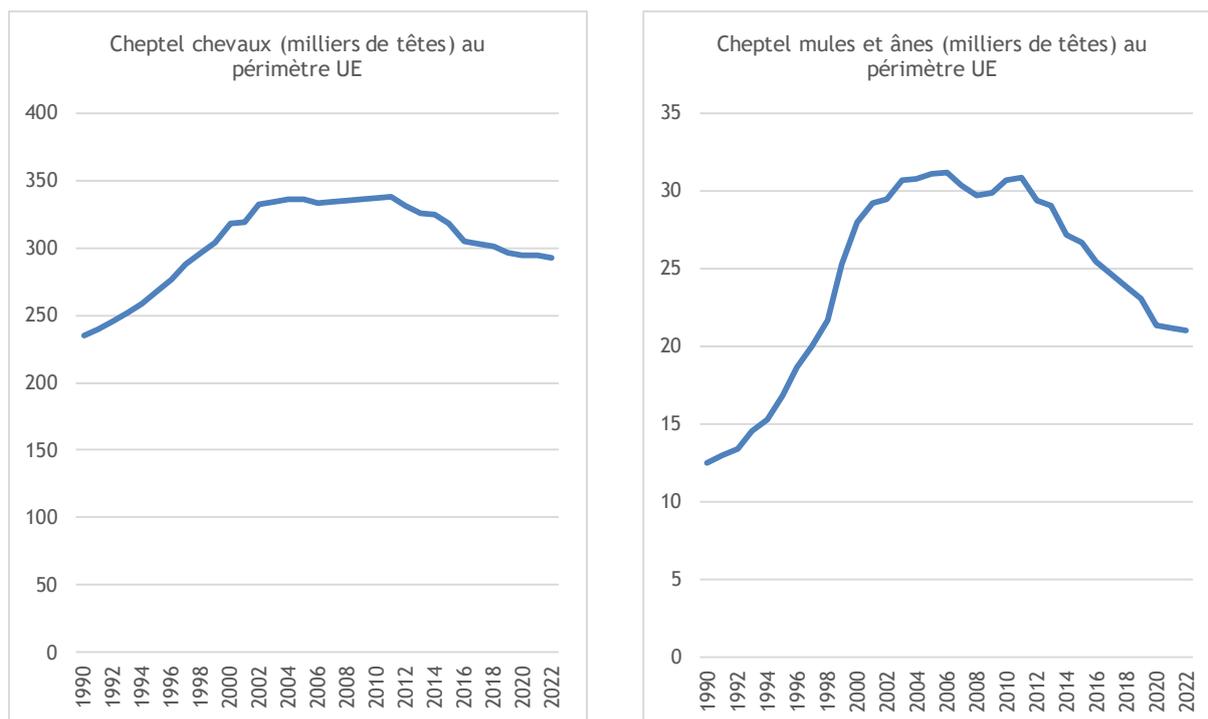


Figure 6 : Evolution des cheptels équins au périmètre UE

En plein essor jusque dans les années 2000, le cheptel équin a vu sa croissance ralentir principalement du fait d'un contexte économique difficile. La production de chevaux subit

une diminution importante, et depuis 2013, les activités équestres sont également en baisse.

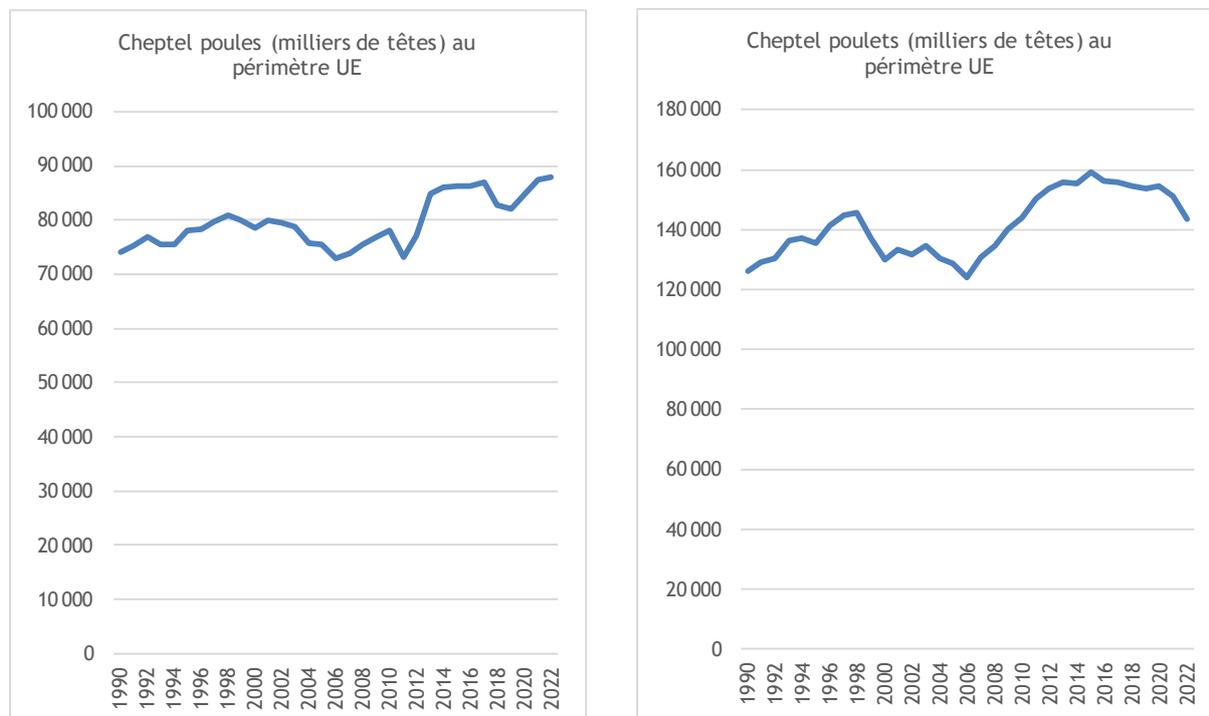


Figure 7 : Evolution des cheptels poules et poulets au périmètre UE

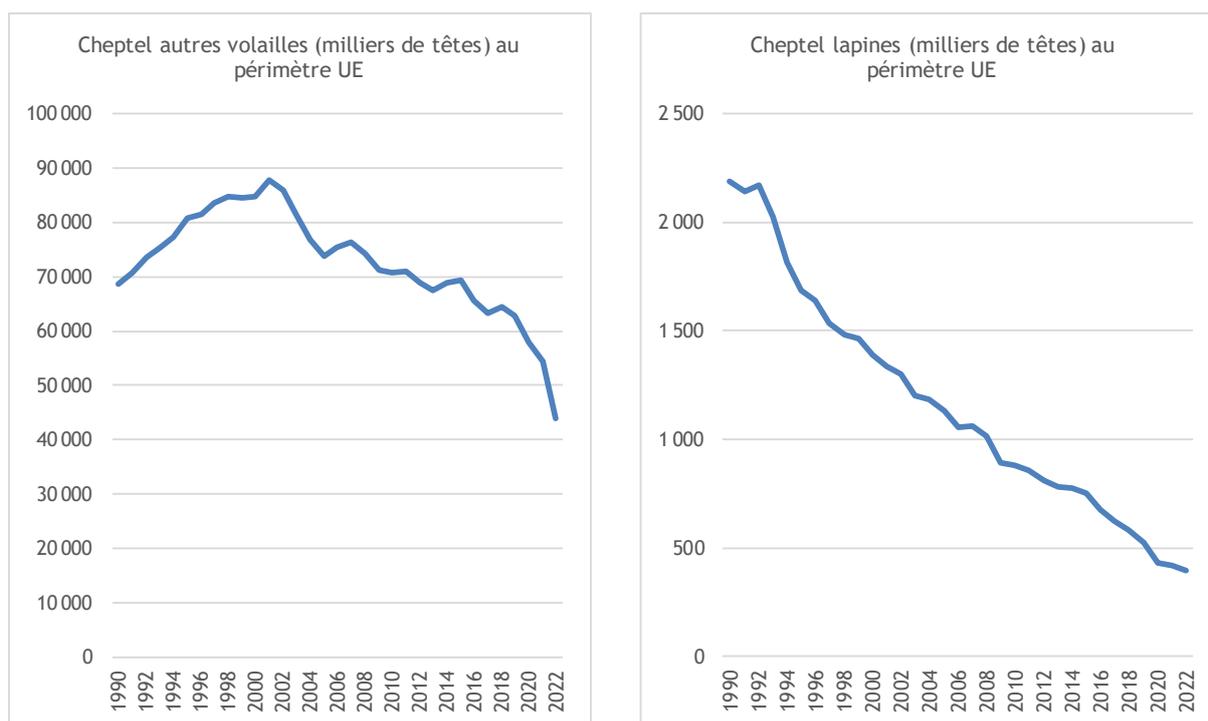


Figure 8 : Evolution des cheptels autres volailles et lapines au périmètre UE

Entre 1990 et 2012, le cheptel des poules pondeuses est relativement stable et majoritairement élevé en cages. L'application, en 2012, de la directive 1999/74/CE visant à une mise aux normes des élevages de poules pondeuses en cage s'est déroulée rapidement en France et a été l'occasion pour de nombreux éleveurs d'agrandir leurs élevages. Ceci explique le recul du cheptel en 2012 et la hausse en 2013. Depuis 2013, la filière ponte voit évoluer ses modes d'élevage avec un repli des effectifs en cage au profit des autres segments (sol, plein-air, label rouge et bio). Entre 2016 et 2021 on observe une accélération de cette transition des modes d'élevage de pondeuses qui s'accompagne d'une hausse de production. En 2022, le secteur ponte est lourdement affecté par une crise influenza aviaire dans un contexte déjà marqué par la hausse des coûts de production.

Les effectifs de poulets de chair sont en hausse, depuis les années 60 en lien avec un développement du marché intérieur et de l'export vers les marchés européens. À la fin des années 90, la France est concurrencée sur son débouché export du fait d'un déficit de compétitivité vis-à-vis d'acteurs émergents tels que le Brésil ou la Thaïlande qui approvisionnent de plus en plus les marchés européens en produits à droits de douane réduits (viandes saumurées, préparations cuites). Le cheptel s'inscrit ainsi en repli entre 1998 et 2006. À partir de 2006, les exportations d'entiers congelés progressent vers les pays du Proche et Moyen Orient (Arabie Saoudite notamment) et contribuent à faire progresser le cheptel malgré une hausse conjointe des importations. La fin des restitutions aux exportations (qui consistent à compenser la différence entre les prix communautaires et les prix mondiaux en subventionnant l'exportation de certains produits agricoles) décidée en 2013, engendre un net recul de cette filière dite du « grand export ». La stabilité du cheptel entre 2013 et 2020 masque des mutations entre repli du poulet léger (pour l'export), stratégie de reconquête du marché national en déficit de compétitivité sur la découpe et montée en gamme des produits (bien-être animal). En 2020, la production de poulet résiste à la pandémie de Covid-19 qui affecte surtout le marché RHD (Restauration Hors Domicile) fortement importateur de poulet origine UE. Le cheptel se stabilise en 2021 malgré la reprise de consommation post-covid, la filière française étant concurrencée par des importations UE. En 2022, le cheptel s'inscrit à la baisse dans un contexte marqué par l'influenza aviaire et le maintien d'une pression concurrentielle à l'import.

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. En 2021 et 2022, la production de dinde continue de se replier.

Le cheptel de palmipèdes fait quant-à-lui face à des épizooties successives d'influenza aviaire depuis 2015 orchestrant un recul du cheptel qui se poursuit jusqu'en 2022. En 2020, les filières canard à rôtir, canard gras, pintades et petites volailles (pigeons, cailles...) ont été durement affectées par la pandémie de Covid-19 et la fermeture des débouchés en RHD et à l'export.

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 le service de la statistique et de la prospective (SSP) du ministère de l'Agriculture.

Ces enquêtes sont réalisées par visite d'un enquêteur dans les élevages et portent notamment sur le mode de construction des bâtiments, le mode de logement, les caractéristiques des ouvrages de stockage des déjections, etc. Les résultats de ces enquêtes fournissent ainsi la représentativité des différents modes de stabulation et types de sol pour les différentes catégories animales.

Les enquêtes bâtiment couvrent les années 1994, 2001 et 2008. Elles concernent les bovins, les porcins, les caprins, les ovins et les volailles et sont disponibles à l'échelle des anciennes régions. L'enquête pratiques d'élevage couvre l'année 2015 et s'inscrit dans la continuité de ces enquêtes bâtiment. Elle a été renommée car les aspects couverts sont plus larges (alimentation des animaux, pratiques sanitaires, soins aux animaux, main d'œuvre). Elle concerne les bovins, les porcins, les caprins, les ovins et les volailles et est disponible à l'échelle des nouvelles régions.

A noter : en complément de ces enquêtes, certaines données issues du Recensement agricole 2020 [1249] ont également été mobilisées. En particulier, ont été intégrées les données concernant les effectifs en plein-air intégral pour les vaches laitières et allaitantes.

Systèmes de gestion des déjections animales - Traitement des données pour les bovins, porcins, ovins et caprins // Annexe du NIR et de l'IIR

Les données des enquêtes bâtiments d'élevage (1994, 2001, 2008) et pratiques d'élevage (2015) sont retraitées afin de déterminer la part des animaux gérés dans chacun des systèmes suivants :

- Pour les bovins : lisier avec croûte naturelle, lisier sans croûte naturelle, fumier (stockage solide), litière accumulée (pendant moins d'un mois pour les vaches laitières et pendant plus d'un mois pour les autres bovins), pâture.
- Pour les autres animaux : lisier sans croûte naturelle, fumier (stockage solide), pâture.

### Définition de capacités

Les données des enquêtes sont fournies selon une catégorisation qui est globalement différente de celle proposée dans la SAA. Pour faciliter la lecture, on nomme la catégorisation des enquêtes « capacité ». Plusieurs cas peuvent être rencontrés :

- La capacité concerne une seule catégorie animale de la SAA : la correspondance est faite directement entre capacité et catégorie SAA ;
- La capacité concerne plusieurs catégories animales de la SAA : les données de la capacité sont attribuées à chaque catégorie animale de la SAA ;
- La catégorie animale de la SAA est concernée par plusieurs capacités : les données des capacités concernées sont pondérées pour être représentatives de la catégorie animale de la SAA.

Le tableau ci-dessous répertorie les différentes correspondances effectuées entre les capacités des enquêtes bâtiment (1994, 2001, 2008) et les catégories animales de la SAA.

NB : Lorsqu'une capacité concerne plusieurs catégories animales, elle est répétée pour faciliter la lecture.

Tableau 34 : Correspondances entre "capacité" des enquêtes bâtiment et catégorie animale de la SAA

Capacité des enquêtes bâtiment	Conversion de la capacité vers la catégorie animale SAA	Catégorie animale de la SAA
Vaches laitières	1,00	Vaches laitières
Vaches nourrices	1,00	Vaches nourrices
Bovins d'élevage ou maigres	1,00	Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans
Bovins d'élevage ou maigres	1,00	Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans
Bovins en engraissement	1,00	Génisses de boucherie de plus de 2 ans
Bovins d'élevage ou maigres	1,00	Mâles de type laitier de plus de 2 ans
Bovins d'élevage ou maigres	1,00	Mâles de type viande de plus de 2 ans
Bovins d'élevage ou maigres	1,00	Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans
Bovins d'élevage ou maigres	1,00	Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans
Bovins en engraissement	1,00	Génisses de boucherie de 1 à 2 ans
Bovins d'élevage ou maigres	1,00	Mâles de type laitier de 1 à 2 ans
Bovins d'élevage ou maigres	1,00	Mâles de type viande de 1 à 2 ans
Veaux de boucherie	1,00	Veaux de boucherie
Autres bovins de - 1 an	1,00	Autres femelles de moins de 1 an
Autres bovins de - 1 an	1,00	Autres mâles de moins de 1 an
Truies en attente de saillie	0,04	Truies de 50 kg et plus
Truies gestantes	0,79	Truies de 50 kg et plus
Truies en maternité	0,16	Truies de 50 kg et plus
Truies en maternité	1,00	Porcelets non sevrés (<8kg)
Porcelets en post- sevrage	1,00	Porcelets sevrés de 8 à 30 kg
Porcs en engraissement	1,00	Porcs à l'engrais de 30 kg et plus
Porcs autres	1,00	Verrats de 50 kg et plus
Brebis laitières	1,00	Brebis mères laitières (y c. réforme)
Autres ovins d'élevage laitiers	0,34	Agnelles
Agneaux en engraissement	1,00	Autres ovins (y compris béliers)
Brebis viandes	1,00	Brebis mères allaitantes (y c. réforme)
Autres ovins d'élevage viandes	0,66	Agnelles
Chèvres	1,00	Chèvres (femelles ayant mis bas)
Autres caprins d'élevage	1,00	Chevrettes
Chevreaux en engraissement	1,00	Autres caprins (y compris boucs)

Les coefficients suivants, appliqués pour les truies, proviennent de l'Ifip - Institut du porc [981] :

Tableau 35 : Paramètres utilisés pour la pondération des capacités truies

	Moyenne nationale
Intervalle sevrage - 1 <sup>ère</sup> saillie (jours)	6,2
Taux de fécondation en 1 <sup>ère</sup> 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 :  $89\% \times 114,5 + (1 - 89\%) \times (114,5 + 21) = 116,8$  jours,
- Maternité : 24,3 jours.

L'expression de ces résultats en pourcentage du temps passé donne alors les chiffres proposés dans le Tableau 34.

Les coefficients appliqués pour les agnelles correspondent à une moyenne de valeurs. La première valeur est issue de Vermorel et al. [362] qui fournit des données d'effectifs pour l'année 2007 distinguant les agnelles laitières (agnelage à 13 mois) et les agnelles allaitantes (agnelage à 15 mois). La seconde valeur est issue du Recensement Agricole 2020 [1249] qui fournit des données d'effectifs pour l'année 2020 en distinguant les effectifs lait des effectifs viande pour les agnelles.

Dans les pratiques d'élevage (2015), la terminologie des capacités a été modifiée. Les correspondances suivantes ont été appliquées :

Tableau 36 : 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
Chevreux 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 37 : 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%
pente paillée			0%	0%	0%	0%	100%
Stabulation libre	litière accumulée	aire d'exercice raclée	0%	0%	15%	7%	78%
		aire d'exercice caillebotis (lisier)	0%	60%	0%	7%	33%
avec aire d'exercice totalement couverte	aire paillée intégrale		0%	0%	0%	17%	83%
	logettes	aire d'exercice bétonnée	0%	0%	25%	0%	75%
aire d'exercice caillebotis		0%	100%	0%	0%	0%	
Stabulation libre	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	0%	10%	13%	7%	71%
		système lisier	0%	60%	0%	7%	33%
ou incomplètement couverte	logettes	alimentation distribuée	0%	10%	23%	0%	68%
		alimentation silo libre service	0%	15%	21%	0%	64%
	système fumier		0%	100%	0%	0%	0%
	système lisier		0%	100%	0%	0%	0%

Tableau 38 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut de l'Elevage - Vaches allaitantes et autres bovins

Vaches allaitantes et autres bovins			% Pâture	% Lisier avec croûte naturelle	% Lisier sans croûte naturelle	% Litière accumulée > 1 mois	% Stockage solide
Plein-air intégral			100%	0%	0%	0%	0%
Stabulation (ou étable) entravée	avec litière		0%	0%	0%	0%	100%
	sans litière		0%	0%	100%	0%	0%
pente paillée			0%	0%	0%	0%	100%
Stabulation libre	litière accumulée	aire d'exercice raclée	0%	0%	13%	14%	73%
		aire d'exercice caillebotis (lisier)	0%	50%	0%	14%	36%
avec aire d'exercice totalement couverte	aire paillée intégrale		0%	0%	0%	29%	71%
	logettes	aire d'exercice bétonnée	0%	0%	25%	0%	75%

		lisier	0%	100%	0%	0%	0%
		aire d'exercice caillebotis	0%	0%	100%	0%	0%
		alimentation distribuée	0%	10%	15%	0%	75%
	pente paillée	alimentation silo libre service	0%	15%	15%	0%	70%
		alimentation distribuée	0%	10%	10%	14%	66%
		alimentation silo libre service	0%	15%	9%	14%	62%
	litière accumulée	alimentation distribuée	0%	50%	0%	14%	36%
		alimentation silo libre service	0%	50%	0%	14%	36%
		alimentation distribuée	0%	10%	23%	0%	68%
		alimentation silo libre service	0%	15%	21%	0%	64%
	logettes	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 39 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut du Porc

Catégories d'animaux	Type de sol simplifié	Types de déjections	
Truies en attente de saillie, gestantes ou en maternité	Bâtiment fermé (entièrement couvert)	Plein air	100% plein air
		Semi plein-air	100% lisier
		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	En maternité (les porcelets restent dans le local maternité après sevrage)	Plein air	100% plein air
		Semi plein-air	100% lisier
		Sol caillebotis partiel ou total	100% lisier
		Sol béton ou légèrement paillé et raclé	100% fumier
		Sol paillé (litière accumulée)	100% fumier
Engraissement	Bâtiment fermé (entièrement couvert)	Plein air	100% plein air
		Semi plein-air	100% lisier
		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	Bâtiment fermé (entièrement couvert)	Plein air	100% plein air
		Semi plein-air	100% lisier
		Sol caillebotis total ou partiel	100% lisier
		Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé	100% fumier
		Sol paillé (litière accumulée)	100% fumier

### Mise en cohérence des séries

Dans l'enquête pratiques d'élevage, tout comme pour les capacités, la terminologie des types de sol a été modifiée. Le Citepa a retraité les données disponibles pour obtenir les correspondances avec les types de sol des enquêtes bâtiment.

Les résultats de l'enquête pratiques d'élevage 2015 sont fournis au niveau des nouvelles régions et au niveau national. En revanche, les résultats ne sont pas fournis pour l'ensemble des nouvelles régions mais uniquement pour celles dans lesquelles les espèces sont le plus présentes. Par exemple, pour les vaches laitières, les données sont fournies au niveau national, ainsi que pour la Bretagne, la Normandie et les Pays de la Loire. Ces 3 régions représentent plus de la moitié des effectifs pour l'année enquêtée (2015).

Pour les bovins, les résultats proposent une répartition des animaux pour :

- La stabulation : libre, entravée, box ou logette ;
- La nature du sol : litière paillée, litière sciure ou copeaux, pente paillée, caillebotis, matelas ou tapis, autre ;
- Les caractéristiques de l'aire d'exercice : distincte, couverte, mode d'évacuation (raclée fumier, raclée lisier, caillebotis, autres)

Les retraitements effectués par le Citepa se décomposent en plusieurs étapes :

- Etape 1 : calcul du pourcentage de répartition des animaux entre stabulation entravée et stabulation non entravée ;
- Etape 2 : calcul du pourcentage de répartition des animaux entre litière, caillebotis et matelas ;
- Etape 3 : calcul du pourcentage de répartition des animaux entre aire d'exercice distincte et non distincte ;

- Etape 4 : calcul du pourcentage de répartition des animaux entre aire d'exercice couverte et non couverte ;
- Etape 5 : calcul du pourcentage de répartition des animaux entre logettes, pente paillée et litière accumulée ;
- Etape 6 : calcul du pourcentage de répartition des animaux entre aire raclée fumier, aire raclée lisier, aire caillebotis.

A noter : des données issues du Recensement agricole 2020 ont pu être transmises pour intégration dans l'inventaire [1249]. Ont été valorisées ici les données d'effectifs gérés en plein-air intégral pour les vaches laitières et allaitantes. La dernière donnée disponible concernant le système en plein-air intégral datait de l'enquête 2008. Par souci de simplification, la valeur issue du recensement agricole 2020 a été attribuée à l'année 2015. Pour la période 2008-2015, les données ont été interpolées. La valeur du recensement 2020 est ensuite maintenue sur la période 2015-année en cours.

Tableau 40 : Premiers retraitements des données pratiques d'élevage 2015 par le Citepa pour les bovins

Données disponibles dans les enquêtes pratiques d'élevage 2015		Etape 1	Etape 2	Etape 3	Etape 4	Etape 5	Etape 6	
Stabulation (total = 100%)	Libre							
	Entravée	% Entravé						
	Box ou logettes					% Logettes		
Nature du sol (total = 100%)	Litière paillée		% Litière					
	Litière sciure ou copeaux		% Litière					
	Pente paillée		% Litière			% Pente paillée		
	Caillebotis		% Caillebotis					
	Matelas ou tapis		% Matelas					
	Autre		Non pris en compte					
Aire d'exercice	Élevage avec aire d'exercice distincte			% Aire d'exercice distincte				
	Part des aires d'exercice couvertes				% Aire d'exercice couverte			
	Répartition des aires d'exercice selon le mode d'évacuation des déjections (total = 100%)	Raclée fumier					% Raclée fumier	
		Raclée lisier					% Raclée lisier	
		Caillebotis					% Caillebotis	
Autre								
Solde recalculé Citepa		% Non entravé		% Aire d'exercice non distincte	% Aire d'exercice non couverte	% Litière accumulée		

Tableau 41 : Correspondances entre types de sol des enquêtes bâtiment et retraitements Citepa sur les pratiques d'élevage 2015 (et recensement agricole 2020) - Bovins

Types de sols des enquêtes bâtiment		Retraitements spécifiques des données sur les pratiques d'élevage 2015	
Plein-air intégral		Attribution du pourcentage issu du Recensement Agricole 2020	
Stabulation (ou étable) entravée	avec litière	% Entravée x % Litière	
	sans litière	% Entravée x (% Caillebotis+ % Matelas)	
	pente paillée	% Non entravée x % Aire d'exercice couverte x % Pente paillée	
Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte	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
	litière accumulée	aire d'exercice caillebotis (lisier)	% Non entravée x % Aire d'exercice distincte x % Aire d'exercice couverte x % Litière accumulée x % Caillebotis
		aire paillée intégrale	% Non entravée x % Aire d'exercice non distincte x Aire d'exercice couverte x % Litière accumulée
logettes	aire d'exercice bétonnée	fumier	% Non entravée x % Aire d'exercice couverte x % Logettes x % Litière
		lisier	% Non entravée x % Aire d'exercice couverte x % Logettes x % Matelas

		aire d'exercice caillebotis	% Non entravée x % Aire d'exercice couverte x % Logettes x % Caillebotis
Stabulation libre	pente paillée	Alim distribuée	% Non entravée x % Aire d'exercice non couverte x % Pente paillée
		Alim silo libre-service	
avec aire d'exercice <u>non</u> <u>couverte</u>	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 porcins, les résultats des pratiques d'élevage 2015 proposent une répartition des animaux selon les types de sol suivants :

- Caillebotis intégral,
- Caillebotis partiel,
- Litière accumulée avec paille.

Pour faire correspondre ces types de sol à ceux des enquêtes bâtiment, les modalités caillebotis intégral et partiel ont été fusionnées. Les correspondances suivantes ont été effectuées :

Tableau 42 : Correspondances entre types de sol des enquêtes bâtiment et retraitements Citepa sur les pratiques d'élevage 2015 - Porcins

Catégories animales	Types de sols des enquêtes bâtiment		Retraitements spécifiques des données sur les pratiques d'élevage 2015
Truies en attente de saillie, gestantes ou en maternité	<i>Plein air</i>		<i>Pas de données exploitables : report de la valeur 2008</i>
	<i>Semi plein-air</i>		<i>Pas de données exploitables : report de la valeur 2008</i>
	Bâtiment fermé (entièrement couvert)	Sol caillebotis total ou caillebotis partiel	% Caillebotis intégral + % Caillebotis partiel
		Sol béton ou légèrement paillé et raclé Sol paillé (litière accumulée)	% Litière accumulée avec paille
Post-sevrage	<i>Plein air</i>		<i>Pas de données exploitables : report de la valeur 2008</i>
	<i>Semi plein-air</i>		<i>Pas de données exploitables : report de la valeur 2008</i>
	<i>En maternité</i>	<i>Les porcelets restent dans le local maternité après sevrage</i>	<i>Pas de données exploitables : report de la valeur 2008</i>
	Bâtiment fermé (entièrement couvert)	Sol caillebotis partiel ou total	% Caillebotis intégral + % Caillebotis partiel
Sol béton ou légèrement paillé et raclé Sol paillé (litière accumulée)		% Litière accumulée avec paille	
Engraissement	<i>Plein air</i>		<i>Pas de données exploitables : report de la valeur 2008</i>
	<i>Semi plein-air</i>		<i>Pas de données exploitables : report de la valeur 2008</i>
	Bâtiment fermé (entièrement couvert)	Sol caillebotis partiel ou caillebotis total	% Caillebotis intégral + % Caillebotis partiel
		Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé Sol paillé (litière accumulée)	% Litière accumulée avec paille
Autres porcs	<i>Plein air</i>		<i>Pas de données exploitables : report de la valeur 2008</i>
	<i>Semi plein-air</i>		<i>Pas de données exploitables : report de la valeur 2008</i>
	Bâtiment fermé (entièrement couvert)	Sol caillebotis total ou partiel	<i>Pas de données exploitables : report de la valeur 2008</i>
		Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé Sol paillé (litière accumulée)	<i>Pas de données exploitables : report de la valeur 2008</i>

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.

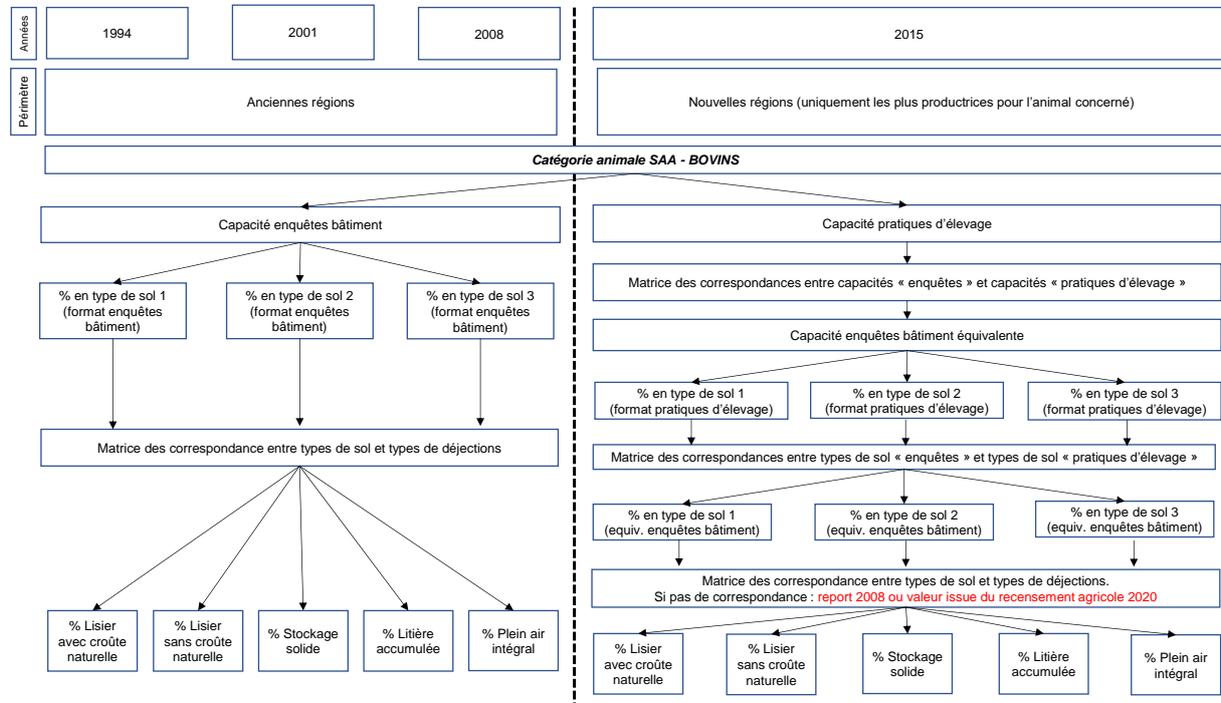


Figure 9 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les bovins

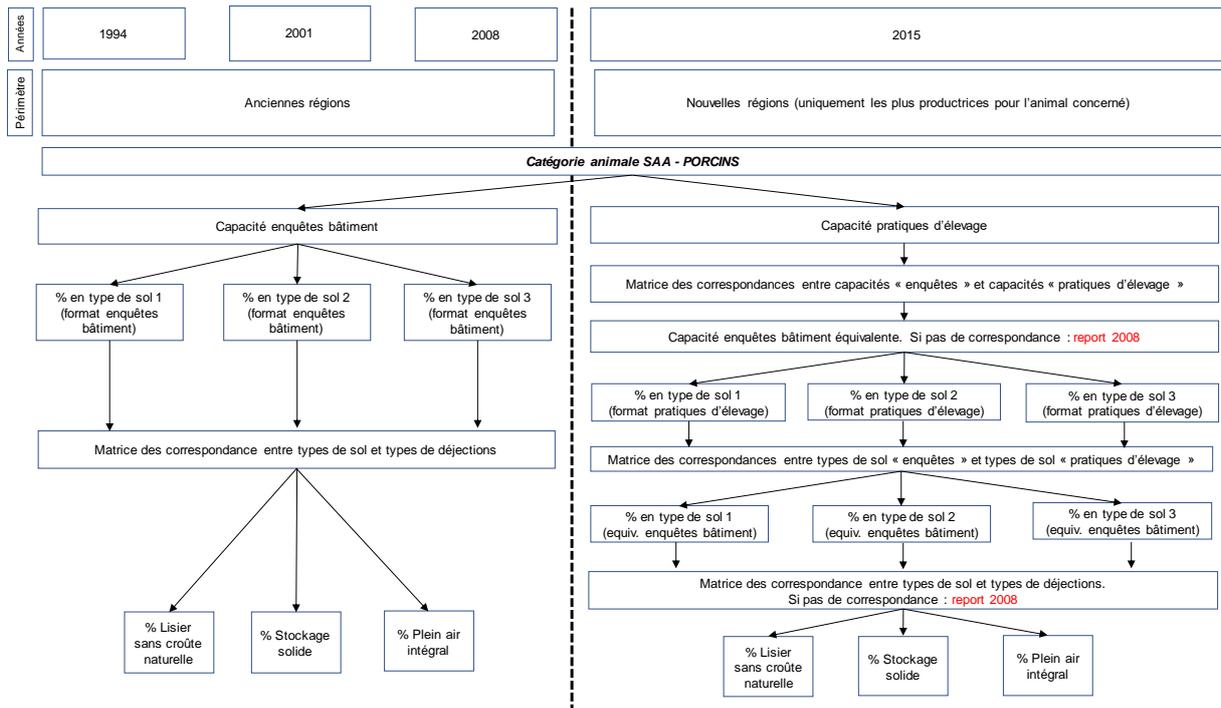


Figure 10 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les porcins

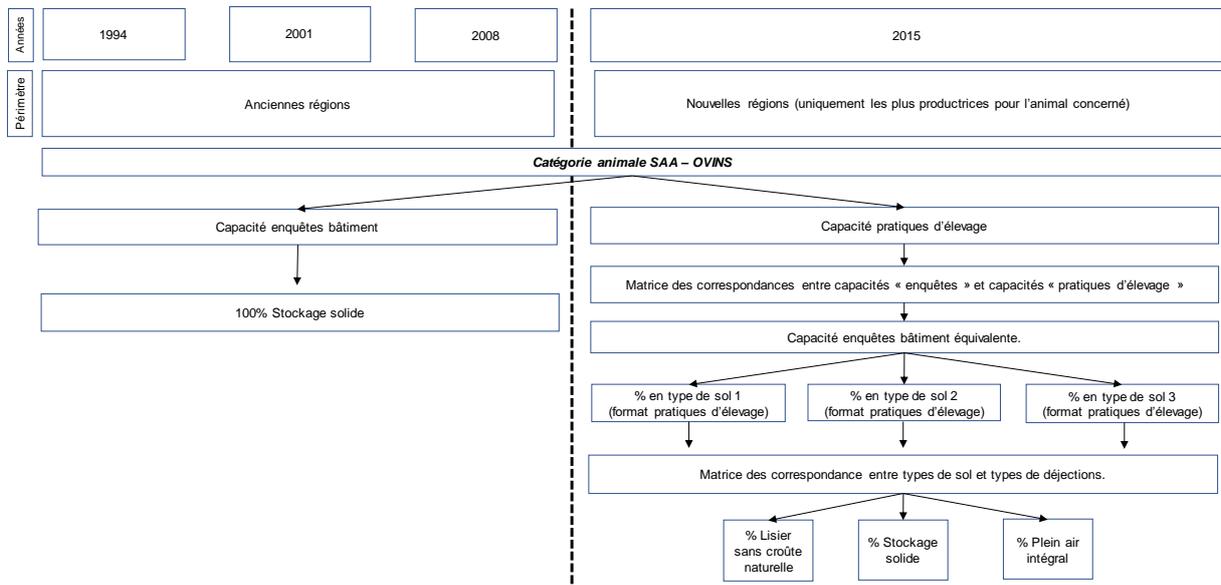


Figure 11 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les ovins

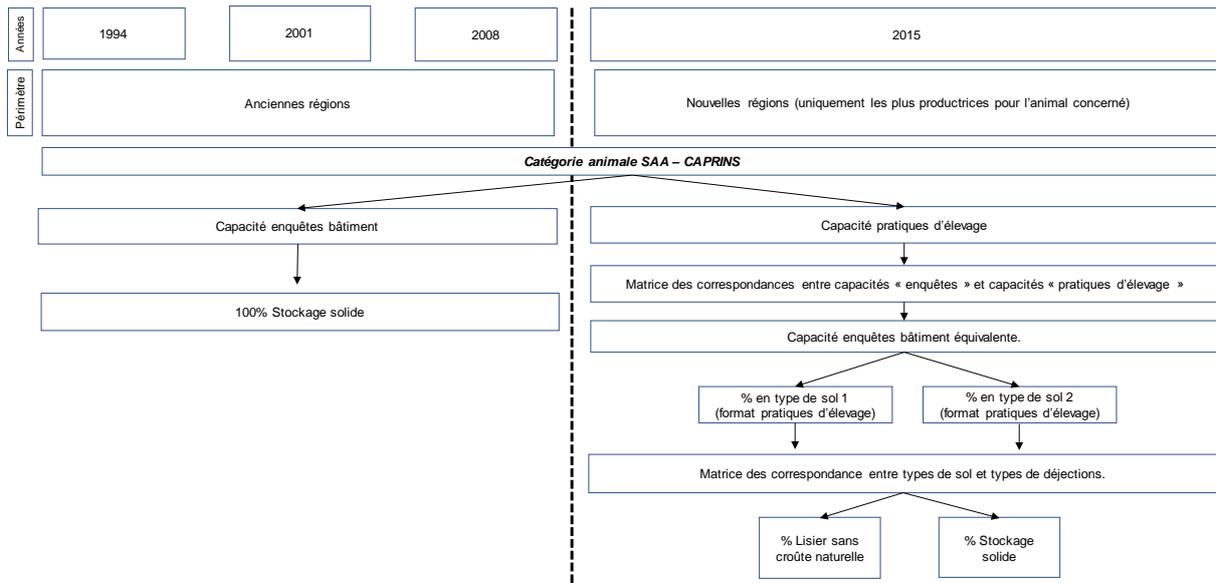


Figure 12 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les caprins

À 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.

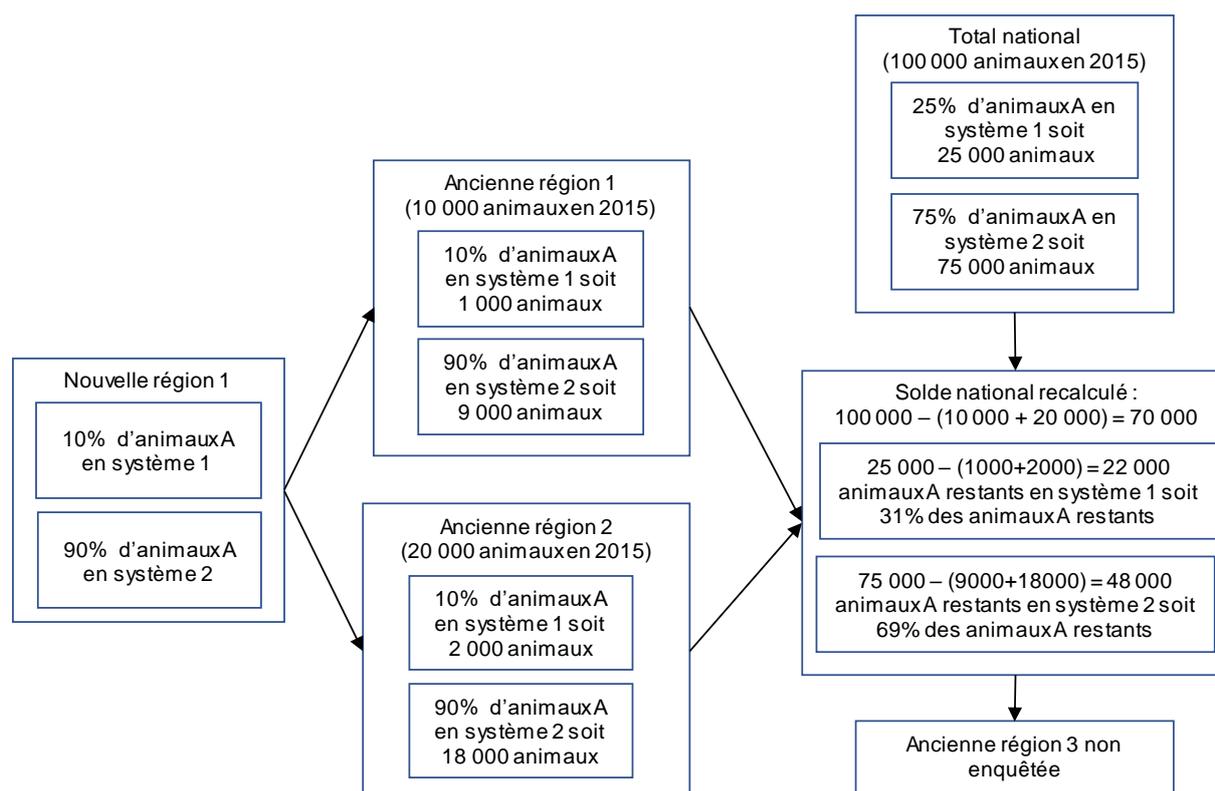


Figure 13 : Illustration fictive du retraitement des données effectué pour mettre en cohérence le périmètre géographique des enquêtes pratiques d'élevage

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 43 : Traitement des données sur les systèmes de gestion des déjections sur la période

		1990 - 1994	1995 - 2000	2001	2002 - 2007	2008	2009-2014	2015 - année en cours	
Bovins	% Plein air intégral	Données 1994	Interpolation linéaire 1994-2001	Données 2001	Interpolation linéaire 2001-2008	Données 2008	Interpolation linéaire 2008-2015	Donnée issue du recensement 2020	
	% Systèmes autres que le plein-air intégral	Données 1994	Interpolation linéaire 1994-2001	Données 2001	Interpolation linéaire 2001-2008	Données 2008	Interpolation linéaire 2008-2015	Données 2015	
Porcins	% Plein air intégral	Données 1994	Interpolation linéaire 1994-2001	Données 2001	Interpolation linéaire 2001-2008	Données 2008	Données 2008	Données 2008	
	% Systèmes lisier	Données 1994	Interpolation linéaire 1994-2001	Données 2001	Interpolation linéaire 2001 - 2008	Données 2008	Interpolation linéaire 2008-2015	Données 2008 (selon les sous-systèmes)	Données 2015 (selon les sous-systèmes)
	% Systèmes fumier	Données 1994	Interpolation linéaire 1994-2001	Données 2001	Interpolation linéaire 2001-2008	Données 2008	Interpolation linéaire 2008-2015	Données 2008 (selon les sous-systèmes)	Données 2015 (selon les sous-systèmes)
Ovins	% Plein air intégral	0%	0%	0%	0%	0%	Interpolation linéaire 2008-2015	Données 2015	
	% Systèmes lisier	0%	0%	0%	0%	0%	Interpolation linéaire 2008-2015	Données 2015	
	% Systèmes fumier	Données 1994	Interpolation linéaire 1994-2001	Données 2001	Interpolation linéaire 2001-2008	Données 2008	Interpolation linéaire 2008-2015	Données 2015	
Caprins	% Systèmes lisier	0%	0%	0%	0%	0%	Interpolation linéaire 2008-2015	Données 2015	
	% Systèmes fumier	Données 1994	Interpolation linéaire 1994-2001	Données 2001	Interpolation linéaire 2001-2008	Données 2008	Interpolation linéaire 2008-2015	Données 2015	

### Temps de présence au bâtiment

Parmi les systèmes présentés plus haut figure le plein-air intégral. Pour ce système, le temps de présence au bâtiment est nul et l'ensemble des déjections produites est attribué au système « pâture/parcours ». Pour les autres systèmes, le temps de présence au bâtiment n'est pas forcément de 100%. Le pourcentage du temps passé en dehors des bâtiments pour ces systèmes doit être estimé et les déjections produites au cours de ce temps passé à l'extérieur viendront s'ajouter au système « pâture/parcours ».

#### Pour les bovins et les ovins

Le temps passé en bâtiment a été estimé à l'aide des durées d'hébergement fournies dans les enquêtes bâtiment 2001 et 2008 [480]. L'enquête bâtiment 1994 ainsi que l'enquête pratiques d'élevage 2015 [980] ne contiennent pas cette information.

Ces durées de présence des animaux en bâtiment sont fournies en « jours temps plein » ce qui correspond au nombre de jours d'hébergement continu pendant la période hivernale. Le temps passé en bâtiment pour la traite pendant l'été et les périodes de transition sont donc exclus 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 44 : 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'Élevage [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'Élevage, le SSP (service statistique du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire) et l'Institut du porc ont permis de connaître les quantités de paille utilisées par mode de stabulation/type de sol provenant des enquêtes bâtiment. Le tableau ci-

dessous présente les quantités de paille à apporter par jour en kg, par capacité « enquête bâtiment » (voir plus haut), par type de logement, pour les bovins.

Tableau 45 : 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
		0,5

	Autres	0,5
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, pente paillée, alimentation distribuée	Vaches laitières	5
	Vaches nourrices	4,5
	Bovins d'élevage	4
	Bovins d'engraissement	4
	Veaux	1
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, pente paillée, alimentation silo en libre service	Autres	1
	Vaches laitières	5
	Vaches nourrices	4,5
	Bovins d'élevage	4
	Bovins d'engraissement	4
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, litière accumulée, système fumier, alimentation distribuée	Veaux	1
	Autres	1
	Vaches laitières	8,5
	Vaches nourrices	6,5
	Bovins d'élevage	5
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, litière accumulée, système fumier, alimentation silo en libre service	Bovins d'engraissement	5
	Veaux	1
	Autres	1
	Vaches laitières	7
	Vaches nourrices	6
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, litière accumulée, système lisier, alimentation distribuée	Bovins d'élevage	4,5
	Bovins d'engraissement	4,5
	Veaux	1
	Autres	1
	Vaches laitières	6
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, litière accumulée, système lisier, alimentation distribuée	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
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, logettes, système fumier, alimentation distribuée	Autres	2
	Vaches laitières	4
	Vaches nourrices	3,5
	Bovins d'élevage	3
	Bovins d'engraissement	3
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, logettes, système fumier, alimentation silo en libre service	Veaux	1,5
	Autres	1,5
	Vaches laitières	4
	Vaches nourrices	3,5
	Bovins d'élevage	3
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, logettes, système lisier, alimentation distribuée	Bovins d'engraissement	3
	Veaux	1,5
	Autres	1,5
	Vaches laitières	0,5
	Vaches nourrices	0,3
Bâtiment fermé (entièrement couvert), Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé	Bovins d'élevage	0,2
	Bovins d'engraissement	0,2
	Veaux	0,5
	Autres	0,5
	Vaches laitières	0,5
	Vaches nourrices	0,3
	Bovins d'élevage	0,2
	Bovins d'engraissement	0,2
	Veaux	0,5
	Autres	0,5

Le tableau ci-dessous présente les quantités de paille à apporter par jour en kg, par capacité « enquête bâtiment » (voir plus haut), par type de logement, pour les porcins.

Tableau 46 : Quantités de paille à apporter par type de logement et par capacité - Porcins

Capacité enquête bâtiment	Types de logement	Besoin en paille par animal par jour (en kg)
Truies en attente de saillie	Bâtiment fermé (entièrement couvert), sol béton ou légèrement paillé et raclé	0,5
	Bâtiment fermé (entièrement couvert), sol béton (litière accumulée)	1,7
Truies gestantes	Bâtiment fermé (entièrement couvert), sol béton ou légèrement paillé et raclé	0,5
	Bâtiment fermé (entièrement couvert), sol béton (litière accumulée)	1,7
Truies en maternité	Bâtiment fermé (entièrement couvert), sol béton ou légèrement paillé et raclé	2
	Bâtiment fermé (entièrement couvert), sol béton (litière accumulée)	2
Porcs en post sevrage	Sol béton ou légèrement paillé et raclé	0,12
	Sol paillé (litière accumulée) sur paille ou sciure accumulée	0,3
Porcs en engraissement ou pré-engraissement	Bâtiment fermé (entièrement couvert), Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé	0,3
	Bâtiment fermé (entièrement couvert), sur paille ou sciure accumulée	1,9
Autres porcs	Bâtiment fermé (entièrement couvert), Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé	0,3
	Bâtiment fermé (entièrement couvert), sur paille ou sciure accumulée	1

Les quantités de paille pour les bovins et les porcins étant attribuées par mode de logement et capacité, elles sont utilisées sur la période de la même manière que celles relatives à la répartition par systèmes de gestion des déjections (voir Tableau 43).

Pour les caprins et les ovins, les quantités de pailles utilisées ont été fournies par l'Institut de l'Élevage 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 47 : Besoins en paille par catégorie animale - Ovins

Catégories d'animaux	Besoin en paille par animal par jour (en kg)
Brebis, agneaux non sevrés et béliers	1,6
Agnelles	0,75
Agneaux	0,15

Dans la SAA, les béliers sont comptabilisés avec les agneaux. Un retraitement a été effectué pour pondérer les apports de paille de cette catégorie mixte, au prorata des effectifs différenciés (béliers/agneaux) fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 et dans le recensement agricole [1249] pour l'année 2020. Le choix a été fait de moyenniser les proratas pour ces deux années afin d'obtenir une pondération constante sur la période. Les quantités de paille résultantes, exprimées par capacité des enquêtes bâtiment, sont les suivantes :

Tableau 48 : Besoins en paille par capacité enquêtes bâtiment - Ovins

Capacités enquêtes bâtiment	Besoin en paille par animal par jour (en kg)
Brebis laitières	1,60
Autres animaux d'élevage laitiers	0,75
Brebis viandes	1,60
Autres animaux d'élevage viandes	0,75
Agneaux en engraissement	0,28

Le tableau ci-dessous présente les quantités de paille à apporter par jour en kg, par catégorie animale, pour les caprins.

Tableau 49 : Besoins en paille par catégorie animale - Caprins

Catégories d'animaux	Besoin en paille par animal par jour (en kg)
Chèvres et boucs	1,5
Nurserie	0,25
Chevrettes	0,75
Chevreaux	0,25

Pour assurer la cohérence avec les capacités des enquêtes bâtiment et la statistique agricole, les retraitements suivants ont été effectués :

- Pour les chèvres : la correspondance est directe,
- Pour les chevrettes : on considère que les chevrettes passent 6% de leur vie en nurserie, d'après les données tirées d'une publication de l'IDELE [982]. La pondération est alors faite entre les apports en nurserie et les apports pour les chevrettes.
- Pour les autres caprins (y compris boucs) : la pondération est faite entre les boucs et les chevreaux au prorata des effectifs différenciés (boucs/chevreaux) fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 et dans le recensement agricole [1249] pour l'année 2020. Le choix a été fait de moyenniser les proratas pour ces deux années afin d'obtenir une pondération constante sur la période.

Les quantités de paille résultantes, exprimées par capacité des enquêtes bâtiment, sont les suivantes :

Tableau 50 : Besoins en paille par capacité enquêtes bâtiment - Caprins

Capacités enquêtes bâtiment	Besoin en paille par animal par jour (en kg)
Chèvres	1,50
Autres animaux d'élevage	0,72
Chevreaux en engraissement	0,66

Les quantités de paille pour les ovins et les caprins étant attribuées par capacité, elles sont utilisées sur la période de la même manière que celles relatives à la répartition par systèmes de gestion des déjections (voir Tableau 43).

Systèmes de gestion des déjections animales - Traitement des données pour les équins//  
Annexe du NIR et de l'IIR

#### Temps de présence au bâtiment

Il a été considéré que les équins passent en moyenne 5 mois en bâtiment, sur la base d'un rapport sur les effluents animaux paru en 2002 [476]. Faute d'autres données disponibles, cette donnée est considérée constante dans le temps et utilisée pour toute la période.

#### Mode de gestion des déjections

Les systèmes lisiers n'existent pas en France, donc 100% des systèmes sont considérés en fumier.

#### Quantités de paille apportées

Pour les équins, les quantités de paille journalières retenues proviennent d'EMEP/EEA 2019 [1138].

Systèmes de gestion des déjections animales - Traitement des données pour les volailles//  
Annexe du NIR et de l'IIR

### Temps de présence au bâtiment

Les temps d'hébergement sont déduits des facteurs d'excrétion azotée des documents Corpen (Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement), qui distinguent la part azotée au parcours de celle excrétée en bâtiment. Il existe trois versions du Corpen pour les volailles : 1996 [503], 2006 [471] et la mise à jour de 2012 [504]. Ces guides fournissent les parts d'excrétions au parcours pour respectivement 40, 78 et 80 catégories de volailles, alors que la SAA ne compte que 10 catégories. Ainsi, pour calculer les parts d'excrétions au parcours à partir du Corpen, il faut connaître les effectifs pour chaque catégorie Corpen, puis calculer un facteur d'émission pondéré pour les 10 catégories de la SAA. Pour cela, les effectifs nationaux fournis pour 46 catégories de volailles par les enquêtes bâtiments 2008 [480] ont été utilisés, en faisant l'hypothèse, faute de données supplémentaires, que les répartitions entre les 46 populations de volailles sont constantes entre 1996 et 2012. Les catégories de volailles et les périmètres d'étude ayant variés entre les versions, certaines données aberrantes ont été corrigées par une interpolation entre les deux valeurs de 1996 et 2012.

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 // Annexe du NIR et de l'IIR

### Temps de présence au bâtiment

Pour les lapines reproductrices, une seule enquête a été réalisée en 1994 [760] mais elle ne fournit pas de durées d'hébergement : les animaux gérés en bâtiment se voient attribuer 100% de leur temps au bâtiment.

### Mode de gestion des déjections

Pour les lapines reproductrices, une seule enquête a été réalisée en 1994 [760]. La répartition entre fumier et lisier est maintenue constante, égale à 1994, pour toute la période.

### Quantités de paille apportées

Ces quantités ne sont pas comptabilisées faute de données disponibles.

Systèmes de gestion des déjections animales - Traitement des données pour les cervidés d'élevage// Annexe du NIR et de l'IIR

En Nouvelle-Calédonie, l'élevage des cervidés est considéré comme extensif. Faute de données plus précises, l'hypothèse est faite d'une gestion à 100% à la pâture.

### *Systèmes de gestion des déjections animales - Les résultats obtenus*

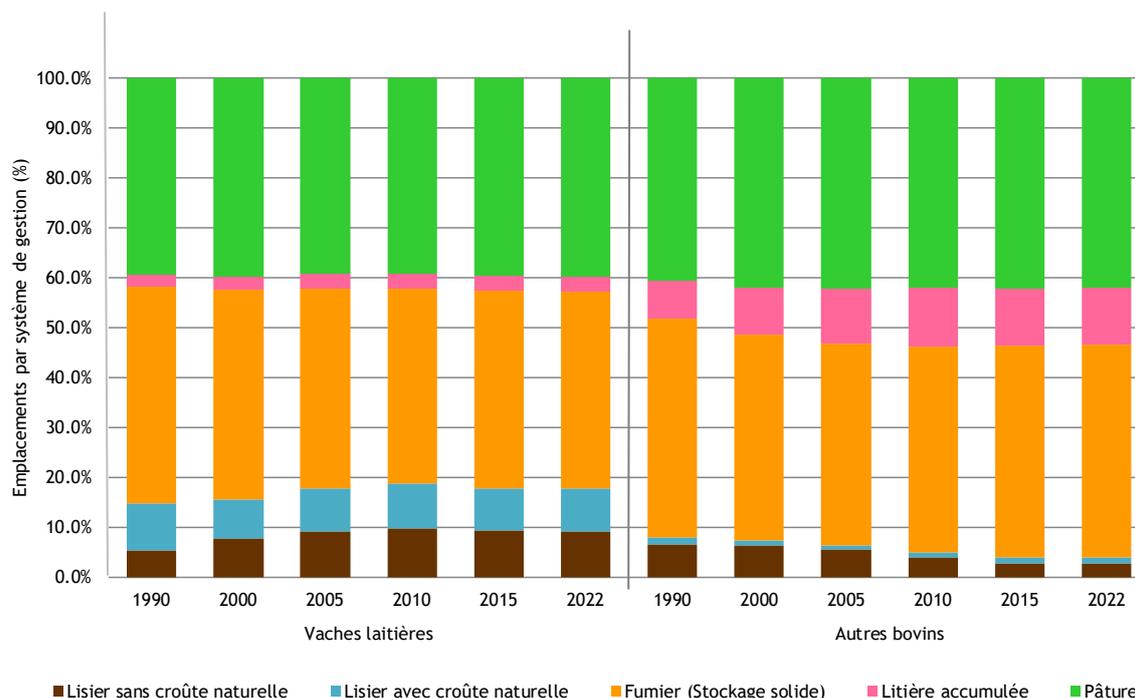
Pour les bovins, 5 systèmes de gestion des déjections sont distingués :

- Lisier sans croûte naturelle ;
- Lisier avec croûte naturelle ;
- Fumier (stockage solide) ;
- Litière accumulée : pendant moins d'un mois pour les vaches laitières et pendant plus d'un mois pour les autres bovins ;
- Pâture.

Ne disposant pas de données spécifiques aux DOM COM, les données de la métropole sont utilisées.

Tableau 51 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins (périmètre UE)

		Lisier sans croûte naturelle	Lisier avec croûte naturelle	Fumier (Stockage solide)	Litière accumulée	Pâture
Vaches laitières	1990	5.4%	9.4%	43.5%	2.4%	39.4%
	2000	7.7%	7.9%	42.0%	2.7%	39.7%
	2005	9.1%	8.7%	40.0%	3.0%	39.2%
	2010	9.7%	9.2%	38.9%	3.1%	39.1%
	2015	9.3%	8.6%	39.5%	3.0%	39.6%
	2022	9.3%	8.6%	39.4%	3.0%	39.8%
Autres bovins	1990	6.6%	1.4%	43.8%	7.6%	40.6%
	2000	6.3%	1.0%	41.3%	9.4%	42.0%
	2005	5.6%	0.9%	40.5%	11.0%	42.1%
	2010	4.0%	0.9%	41.2%	11.9%	41.9%
	2015	2.8%	1.1%	42.4%	11.4%	42.2%
	2022	2.8%	1.1%	42.7%	11.5%	41.9%



Source Citepa / format Ominea - février 2023

Graph\_OMINEA\_3.xls/SGDA

Figure 14 : Répartition entre types d'effluents pour les bovins (périmètre UE)

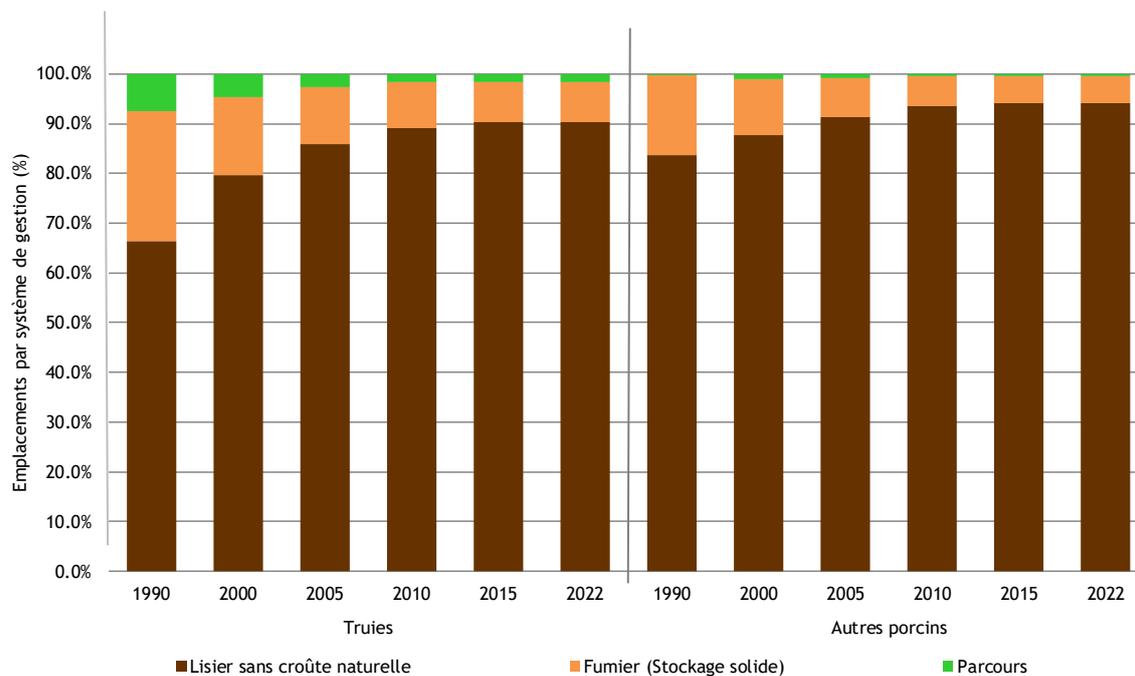
Pour les autres animaux, 3 systèmes de gestion des déjections sont distingués :

- Lisier sans croûte naturelle ;
- Fumier (stockage solide) ;
- Pâture/parcours.

*Ne disposant pas de données spécifiques aux DOM COM, les données de la métropole sont utilisées, à l'exception des cervidés d'élevage (uniquement en Nouvelle-Calédonie, considérés 100% à la pâture).*

Tableau 52 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins (périmètre UE)

		Lisier sans croûte naturelle	Fumier (Stockage solide)	Parcours
Truies	1990	66.4%	26.1%	7.5%
	2000	79.7%	15.6%	4.7%
	2005	85.8%	11.5%	2.7%
	2010	89.1%	9.3%	1.6%
	2015	90.3%	8.1%	1.6%
	2022	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%
	2022	94.2%	5.3%	0.5%



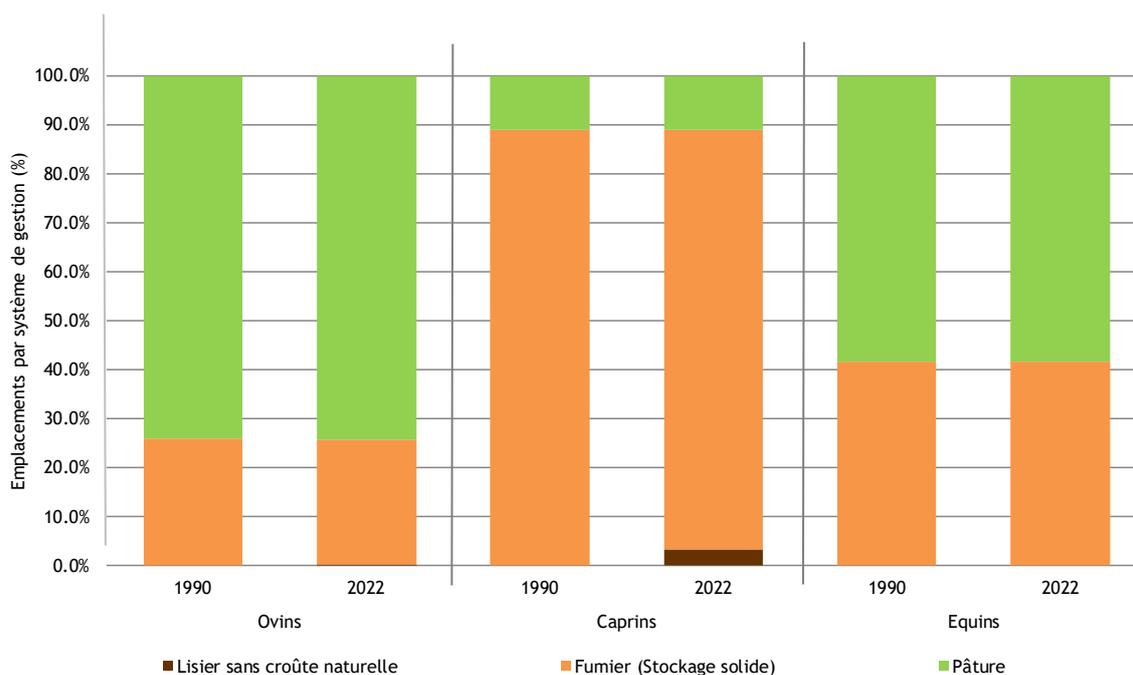
Source Citepa / format Ominea - février 2023

Graph\_OMINEA\_3.xls/SGDA

Figure 15 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins (périmètre UE)

Tableau 53 : Répartition des systèmes de gestion des déjections ovins, caprins, équins (périmètre UE)

		Lisier sans croûte naturelle	Fumier (Stockage solide)	Pâture
Ovins	1990	0.0%	25.9%	74.1%
	2022	0.3%	25.5%	74.3%
Caprins	1990	0.0%	89.0%	11.0%
	2022	3.3%	85.6%	11.0%
Equins	1990	0.0%	41.7%	58.3%
	2022	0.0%	41.7%	58.3%



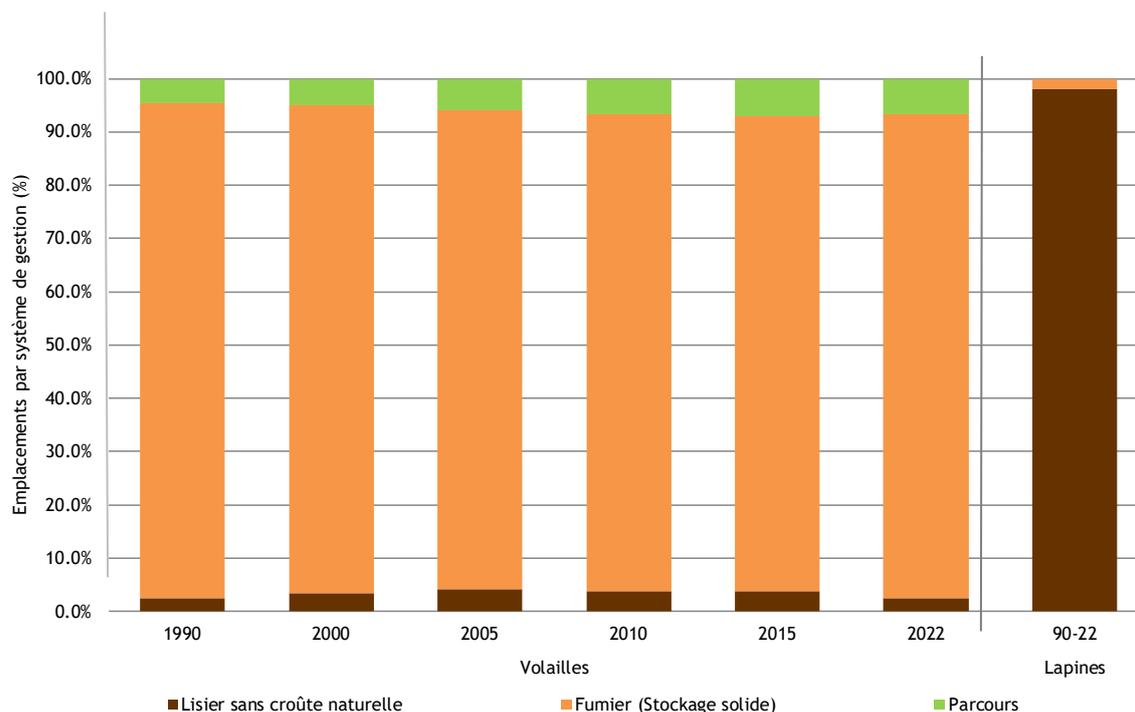
Source Citepa / format Ominea - février 2023

Graph\_OMINEA\_3.xls/SGDA

Figure 16 : Répartition des systèmes de gestion des déjections ovins, caprins, équins (périmètre UE)

Tableau 54 : Répartition des systèmes de gestion des déjections volailles et lapines (périmètre UE)

		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%	89.3%	7.0%
	2022	2.5%	90.8%	6.7%
Lapines	90-22	98.0%	2.0%	0.0%



Source Citepa / format Ominea - février 2023

Graph\_OMINEA\_3.xls/SGDA

Figure 17 : Répartition des systèmes de gestion des déjections volailles et lapines (périmètre UE)

### Méthanisation agricole

La méthanisation agricole se développe en France de façon importante depuis les dix dernières années (Figure 18). La base de données SINOE de l'Ademe [798] (<https://www.sinoe.org/>), qui permet de suivre le nombre de méthaniseurs en activité par mode de gestion, dénombre 1 208 méthaniseurs agricoles (à la ferme + centralisés) en 2022. Les activités de méthanisation affectent les émissions au niveau de la gestion des déjections et au niveau de l'épandage des digestats. Afin d'intégrer ces effets dans l'inventaire, l'objectif est d'établir un suivi des intrants valorisés en méthanisation à l'échelle régionale pour en déduire des quantités d'effluents méthanisés et des quantités de digestats épandus.

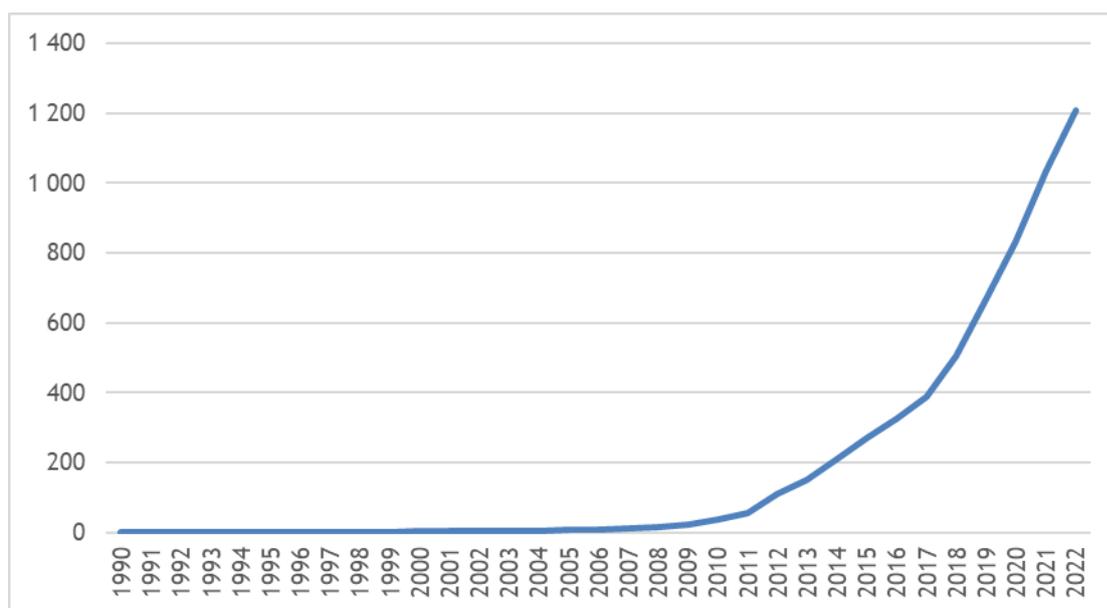


Figure 18 : Evolution du nombre de sites de méthanisation agricole en France

### Mode de calcul des quantités et du type d'intrants méthanisés

La quantité totale d'effluents d'élevage méthanisés est estimée sur la base du nombre de méthaniseurs agricoles en activité par mode de gestion en mobilisant la base de données SINOE [798] d'une estimation du tonnage d'intrant moyen par méthaniseur.

Les tonnages d'intrants moyens par méthaniseur sont calculés à l'échelle régionale sur la base de données régionales (Observatoires de la méthanisation, DREAL, chambres d'agriculture, ADEME...) ou à partir d'une base de données partielle, constituée au Citepa, méthaniseur par méthaniseur pour la quantité d'effluents d'élevage (données constructeur, déclarations ICPE, communication professionnelle...) pour la période 1990-2020 (525 méthaniseurs). Lorsque qu'elles existent les sources qui fournissent des quantités d'intrants spécifiques à partir d'enquêtes régionales sur les installations de méthanisation sont privilégiées, toutefois ces données étant parfois partielles ou incomplètes par rapport aux besoins de l'inventaire, des traitements complémentaires ont été apportés.

Les différentes sources mobilisées pour le calcul de la ration sont listées au niveau du tableau suivant Tableau 55.

Tableau 55 : Sources de données régionales mobilisées pour l'estimation des quantités d'intrants méthanisés

Région	Source	Année	Référence
Auvergne-Rhône-Alpes	DREAL AURA	2020, 2021	[1236]
Bourgogne-Franche-Comté	ADEME	2019	[1158]
Bretagne	Association AILE	2021-2023	[1237]
Centre-Val de Loire	Citepa	2020	
Grand Est	Ademe	2022	
Hauts de France	Citepa	2020	
Ile-de-France	AREC IDF	2022	[1239]
Normandie	Chambre d'agriculture Normandie	2020	[1240]
Occitanie	Citepa	2020	

PACA	Citepa	2020	
Pays de la Loire	Association AILE, DREAL PDL	2019-2023	[1159] [1241]
Nouvelle-Aquitaine	AREC NA	2018	[1168]

Une ration d'un méthaniseur moyen est donc établie à l'échelle régionale avant d'obtenir une ration nationale (Figure 19 & Figure 20). Lorsque l'information est disponible au niveau de l'ancienne région, celle-ci est renseignée, sinon la même ration est appliquée à l'ensemble des sous régions. Pour une année  $i$ , une région  $r$  et un type d'intrant  $k$  on obtient l'équation suivante :

$$\text{Intrants méthanisés}_{i,r,k} = \text{Nombre de méthaniseurs}_{i,r} * \text{Tonnages intrants moyens}_{i,r,k}$$

En 2022 on dénombre ainsi 1208 méthaniseurs agricoles valorisant 17,2 millions de tonnes de matière brute à 46 % constituée d'effluents d'élevage. Les fourchettes d'intrants obtenus sont très larges et reflètent la diversité des modèles de méthanisation (taille, typologie, équipements...). En revanche, elles sont déterminées pour une année donnée lorsque les données sont disponibles mais ne reflètent pas les potentiels évolutions des plans d'approvisionnements, les aléas techniques... Des recherches complémentaires pourraient être poursuivies pour acquérir des références sur plusieurs années et pour les divers modèles de méthanisation.

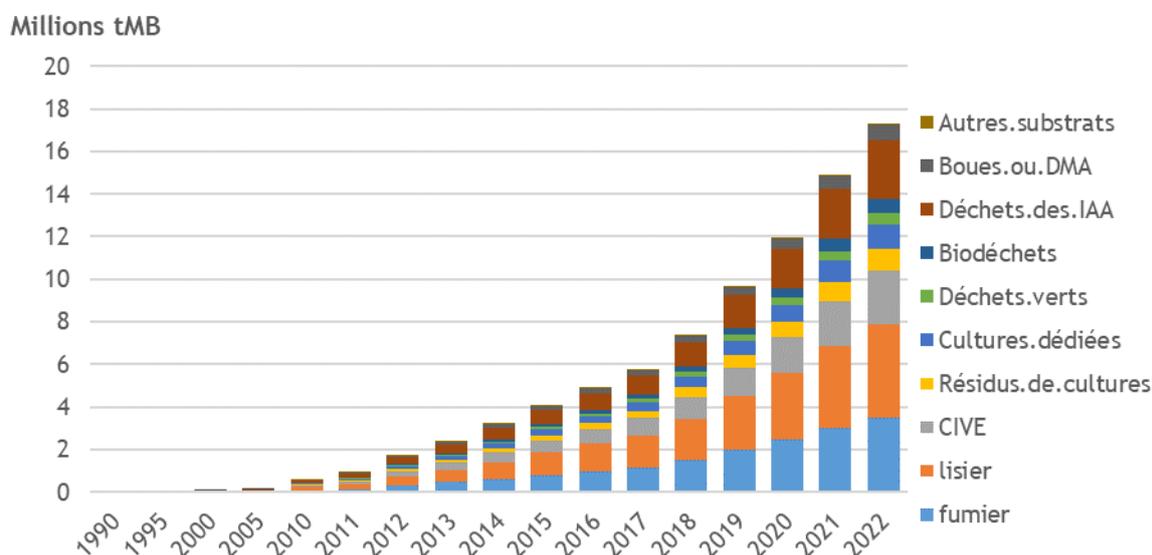


Figure 19. Estimation des quantités d'intrants alimentant les méthaniseurs agricoles en France. Source : Citepa d'après sources multiples : AILE, AREC, DREAL, ADEME...

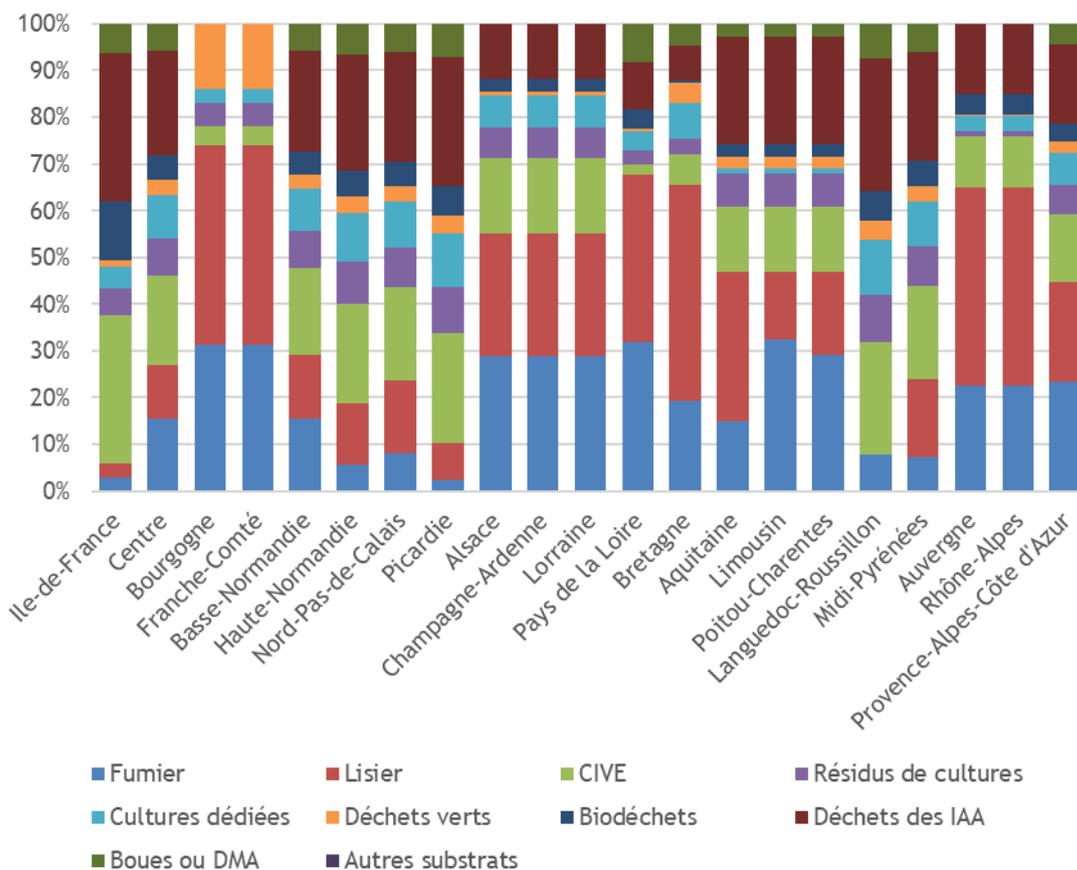


Figure 20. Estimation des ratios moyennes des méthaniseurs agricoles par ancienne région (avant réforme 2016)  
- Source : Citepa d'après sources multiples : AILE, AREC, DREAL, ADEME...

### Intégration de la méthanisation comme système de gestion des déjections

Les quantités estimées d'effluents méthanisés sont intégrées en tant que mode de gestion des déjections animales dans le module de calcul PACRETE. La méthode consiste à estimer un cheptel (théorique) dont les déjections seraient entièrement dirigées vers la méthanisation. Il est donc nécessaire de convertir les données de tonnages d'effluents méthanisés en nombre d'animaux.

A cet effet, le gisement d'effluents théoriquement disponible pour la méthanisation est estimé sur la base de l'azote excrété au bâtiment, déterminé au sein du module PACRETE, puis converti en tonnages de matière brute (tMB) sur la base de références bibliographiques sur les teneurs en azote des effluents (Tableau 56). Aussi pour une région  $r$ , une catégorie d'élevage  $s$ , et un type d'effluent  $e$  :

$$\text{gisement effluents}_{r,s,e} = \frac{\text{azote excrété par tête}_{r,s,e}}{\text{teneur en azote effluents}_{s,e}}$$

L'excrétion moyenne d'effluents en tMB par tête d'animal et par type d'effluent est déduite du calcul du gisement et du cheptel.

$$\text{quantité effluents par tête}_{r,s,e} = \frac{\text{gisement effluents}_{r,s,e}}{\text{cheptel}_{r,s}}$$

La répartition régionale des intrants méthanisés par type d'effluent (fumier/lisier) est dérivée des données d'intrants méthanisés calculées précédemment et de la répartition régionale par espèce du gisement d'effluents.

$$\text{intrants méthanisés}_{r,s,e} = \text{intrants méthanisés}_{r,e} \times \frac{\text{gisement effluents}_{r,s,e}}{\sum_s \text{gisement effluents}_{r,s,e}}$$

On déduit ainsi le cheptel (théorique) dont les déjections sont entièrement méthanisées des intrants méthanisés régionaux et des quantités moyennes d'effluents par animal.

$$\text{cheptel méthanisé}_{r,s} = \frac{\text{intrants méthanisés}_{r,s,e}}{\text{quantité effluents par tête}_{r,s,e}}$$

Tableau 56. Teneur en azote retenue pour les effluents d'élevage de l'inventaire

Catégories inventaire (SAA)	Type d'effluent	Référence utilisée	Nom dans la référence	gN/kgMB
Bovins	lisier	[1230]	Lisier de bovins	3,4
	fumier litière accumulée	[1230]	Fumier de bovins sur litière accumulée	5,9
	fumier raclé	[1230]	moyenne fumier de bovin mou / compact	4,6
Ovins	fumier	[1230]	Fumier d'ovins	6,7
	lisier	[1230]	Lisier de bovins	3,4
Caprins	fumier	[1230]	Fumier de caprins	6,1
	lisier	[1230]	Lisier de bovins	3,4
Truies de 50 kg et plus	lisier	[1230]	Lisier de truies gestantes	2,2
	fumier	[1230]	Fumier de porcs charcutiers	9,4
Verrats de 50 kg et plus	lisier	[1230]	Lisier de porcs charcutiers	5,8
	fumier	[1230]	Fumier de porcs charcutiers	9,4
Porcelets non sevrés (<8kg)	lisier	[1230]	Lisier de porcs naisseur engraisseur	3,5
	fumier	[1230]	Fumier de porcs charcutiers	9,4
Porcelets sevrés de 8 à 30 kg	lisier	[1230]	Lisier de porcs naisseur engraisseur	3,5
	fumier	[1230]	Fumier de porcs charcutiers	9,4
Porcs à l'engrais de 30 kg et plus	lisier	[1230]	Lisier de porcs charcutiers	5,8
	fumier	[1230]	Fumier de porcs charcutiers	9,4
Poules pondeuses d'œufs à couvrir	fumier	[1230]	moyenne Fientes de pondeuses en cage / bio	30,8
	lisier	[1230]	Lisier de canard à rôtir	6,1
Poules pondeuses d'œufs de consommation	fumier	[1230]	moyenne Fientes de pondeuses en cage / bio	30,8
	lisier	[1230]	Lisier de canard à rôtir	6,1
Poulettes	fumier	[1230]	moyenne Fientes de pondeuses en cage / bio	30,8
	lisier	[1230]	Lisier de canard à rôtir	6,1
Poulets de chair	fumier	[1230]	Fumier poulet de chair conventionnel	21,9
	lisier	[1230]	Lisier de canard à rôtir	6,1
Canards à gaver	fumier	[1230]	Fumier poulet de chair conventionnel	21,9
	lisier	[1230]	Lisier de canard à gaver	4,6
Canards à rôtir	fumier	[1230]	Fumier poulet de chair conventionnel	21,9
	lisier	[1230]	Lisier de canard à rôtir	6,1
Dindes et dindons	fumier	[1230]	Fumier dinde	25,5
	lisier	[1230]	Lisier de canard à rôtir	6,1
Oies	fumier	[1230]	Fumier poulet de chair conventionnel	21,9
	lisier	[1230]	Lisier de canard à gaver	4,6
Pintades	fumier	[1230]	Fumier de pintade label	27
	lisier	[1230]	Lisier de canard à rôtir	6,1
Cailles d'élevage	fumier	[1230]	Fumier de cailles	38,8

	lisier	[1230]	Lisier de canard à rôtir	6,1
Lapines reproductrices	fumier	[1230]	Crottes de lapin	8,1
	lisier	[1230]	Lisier de lapin	3,3
Equins	lisier	[1231]	Fumier courant	8,2
	fumier	[1231]	Fumier courant	8,2

A l'heure actuelle, ces estimations sont réalisées pour les bovins et les porcins uniquement, qui représentent 97 % des volumes d'effluents méthanisés en 2021 selon nos estimations.

Pour les bovins et les porcins, chaque système au bâtiment décrit précédemment est sous-divisé de manière à distinguer les effluents suivant la chaîne « classique » (bâtiment, stockage, épandage), des effluents partant en méthanisation (bâtiment, méthanisation, épandage). Par exemple, on distingue le lisier sans croûte naturelle « classique » du lisier sans croûte naturelle « à vocation méthanisation ».

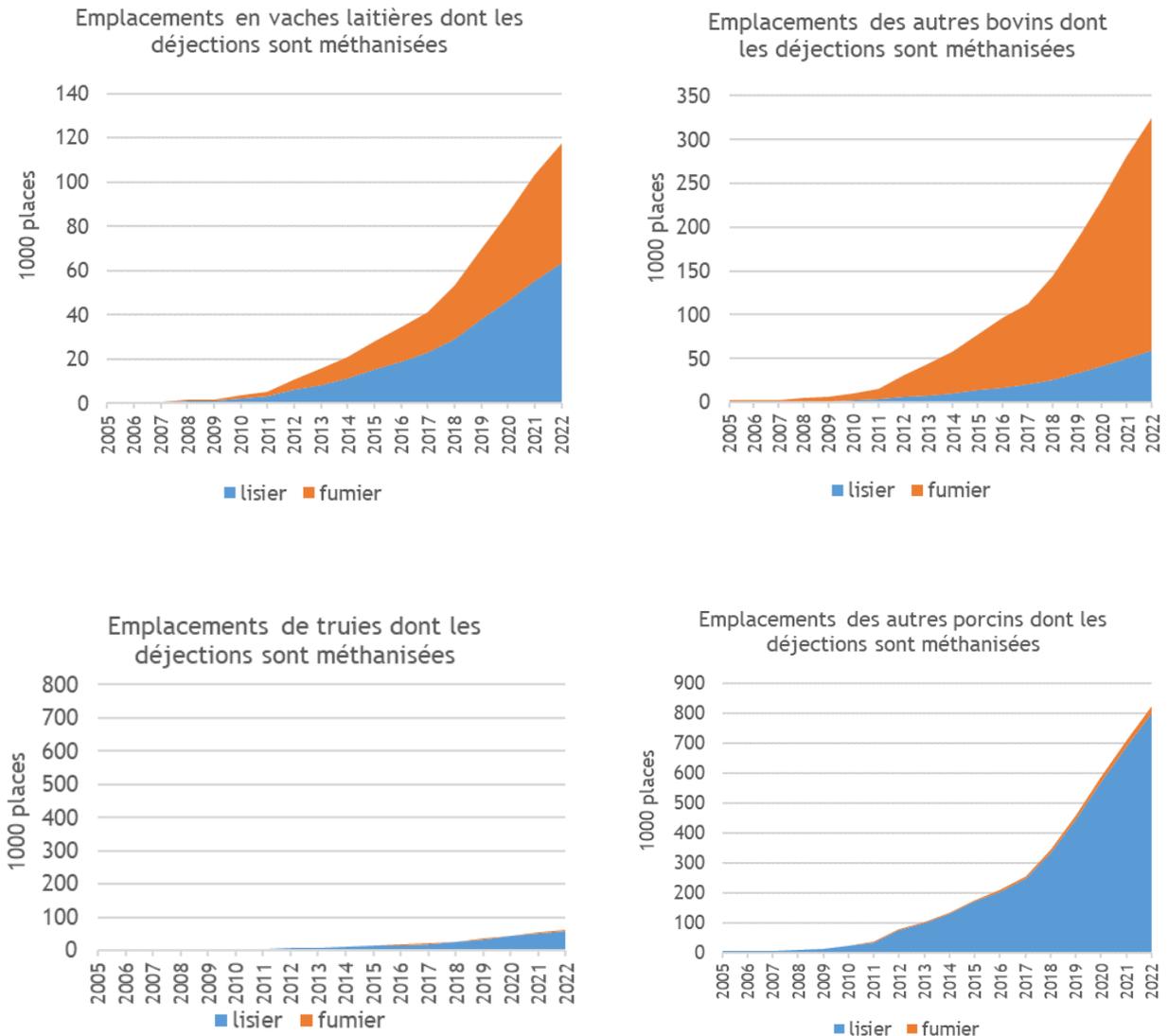


Figure 21 : Evolution des places méthanisées en bovins et porcins

Pour les bovins, on répartit ensuite les places en lisier méthanisé entre les systèmes lisier avec croûte (noté ci-après LAC) et sans croûte (noté ci-après LSC), au prorata des places pour chacun des systèmes l'année en question, par ancienne région.

Exemple pour une région et une année donnée :

$$\text{places LAC méthanisées} = \text{places lisier méthanisées} \times \frac{\text{places LAC}}{\text{places LAC} + \text{places LSC}}$$

Ces places méthanisées LAC sont retirées du système « classique » LAC, et attribuées au nouveau système LAC « à vocation méthanisation ». On obtient alors 4 types d'effluents liquides pour les bovins : lisier sans croûte, lisier sans croûte à vocation méthanisation, lisier avec croûte, lisier avec croûte à vocation méthanisation. Pour faciliter la lecture des résultats, les deux systèmes à vocation méthanisation sont regroupés en « méthanisation liquide » plus bas.

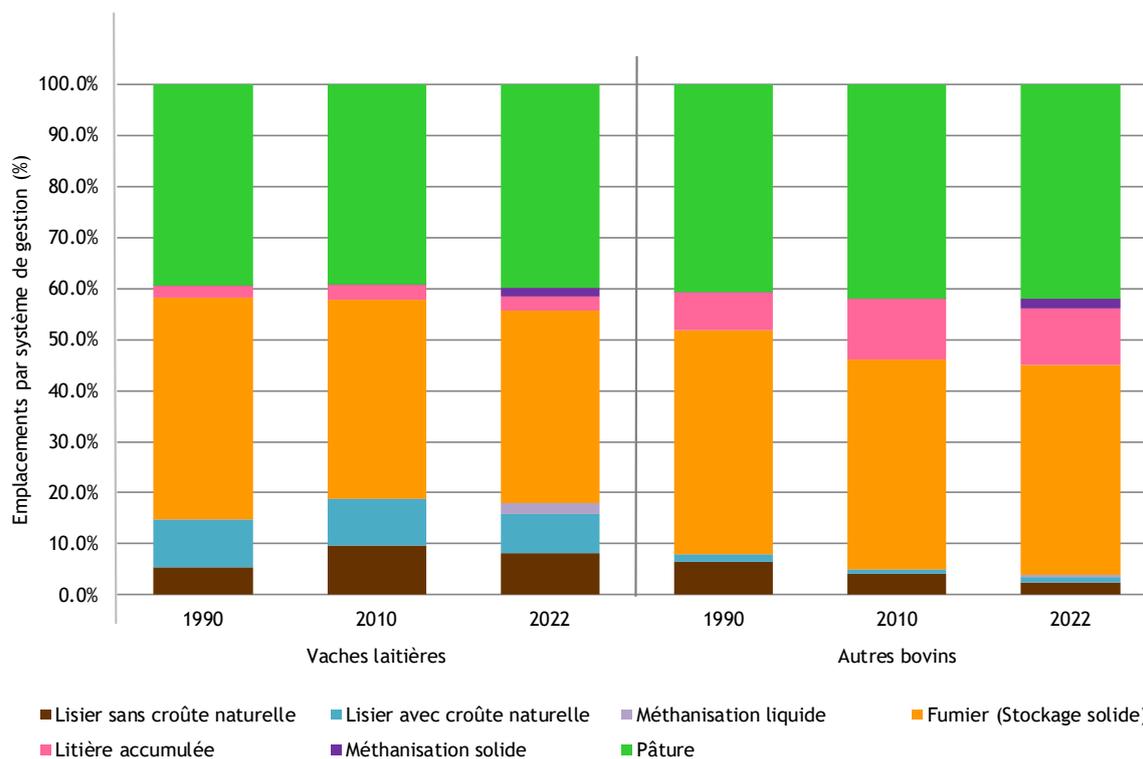
On répartit également les places fumier entre les systèmes stockage solide et litière accumulée, au prorata des places pour chacun des systèmes l'année en question, par ancienne région. Comme pour les systèmes liquides, on se retrouve alors avec 4 types d'effluents solides pour les bovins : stockage solide, stockage solide à vocation méthanisation, litière accumulée, litière accumulée à vocation méthanisation. Pour faciliter la lecture des résultats, les deux systèmes à vocation méthanisation sont regroupés en « méthanisation solide » plus bas.

Pour les porcins, le même traitement est effectué par ancienne région. Les places lisier méthanisées sont retirées du système lisier sans croûte pour être attribuées au système lisier sans croûte à vocation méthanisation. Les places fumiers sont retirées du système stockage solide pour être attribuées au système stockage solide à vocation méthanisation.

On obtient alors les répartitions suivantes :

Tableau 57 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins avec méthanisation (périmètre UE)

		Lisier sans croûte naturelle	Lisier avec croûte naturelle	Fumier (Stockage solide)	Litière accumulée	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%	38.9%	3.1%	39.1%	0.1%	0.0%
	2022	8.2%	7.7%	37.8%	2.9%	39.8%	2.0%	1.7%
Autres bovins	1990	6.6%	1.4%	43.8%	7.6%	40.6%	0.0%	0.0%
	2010	4.0%	0.9%	41.2%	11.9%	41.9%	0.0%	0.1%
	2022	2.5%	1.0%	41.2%	11.1%	41.9%	0.4%	1.9%



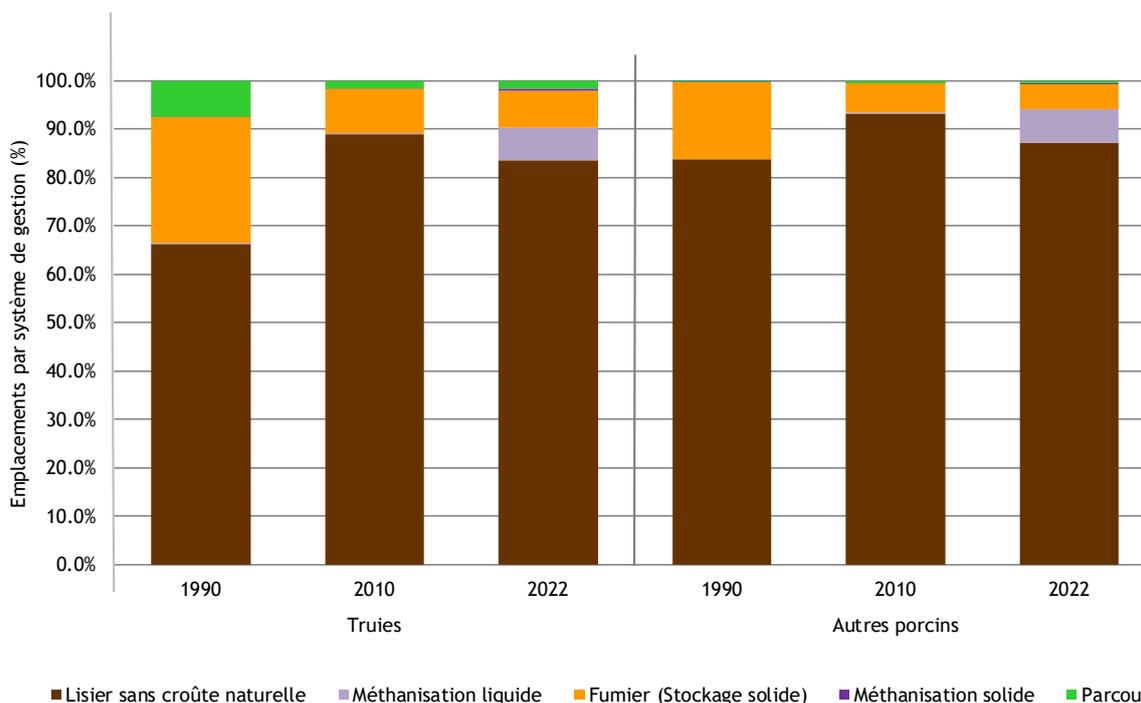
Source Citepa / format Ominea - février 2023

Graph\_OMINEA\_3.xls/SGDA

Figure 22 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins avec méthanisation (périmètre UE)

Tableau 58 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins avec méthanisation (périmètre UE)

		Lisier sans croûte naturelle	Fumier (Stockage solide)	Parcours	Méthanisation liquide	Méthanisation solide
Truies	1990	66.4%	26.1%	7.5%	0.0%	0.0%
	2010	88.9%	9.3%	1.6%	0.2%	0.0%
	2022	83.5%	7.7%	1.6%	6.9%	0.3%
Autres porcins	1990	83.7%	16.0%	0.3%	0.0%	0.0%
	2010	93.3%	6.0%	0.5%	0.2%	0.0%
	2022	87.1%	5.1%	0.5%	7.0%	0.2%



Source Citepa/ format Ominea - février 2023

Graph\_OMINEA\_3.xls/SGDA

Figure 23 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins avec méthanisation (périmètre UE)  
Azote issu de la fraction hors-effluents d'élevage du digestat

Pour le calcul des émissions liées au digestat hors déjections animales, les teneurs en azote de chaque catégorie d'intrants (CIVE, déchets des IAA, ...) sont fournies par le guide EMEP 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 en déduire l'azote épandu par la suite. La méthode de prise en compte des émissions à l'épandage des intrants azotés est ensuite détaillée au niveau du chapitre « 3D\_agricultural\_soils ».

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 ( $\text{NH}_4^+$ ). Cette minéralisation de l'azote varie fortement en fonction de la nature des intrants.

Tableau 59 : Principales teneurs en azote des intrants méthanisés

Catégorie d'intrant	Description	Teneur en azote (gN/kgMB)	Source
DMA	Déchets ménagers et assimilés (déchets verts, autres déchets organiques des collectivités)	5,7	EMEP 2019
Déchets des IAA	Déchets d'abattoirs et industries de transformation de la viande, des fruits et légumes et du lait	5,1	EMEP 2019
Cultures dédiées	Moyenne des valeurs ensilage de maïs et ensilage d'herbe	7,0	EMEP 2019
CIVE	Cultures intermédiaires à vocation énergétique	7,0	EMEP 2019

Boues de STEP	Boues issues de station d'épuration	2,2	Hypothèse nationale sur les types de boues et leur teneur
Résidus de cultures	Paille	5,1	EMEP 2019

### 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'utilisateurs, 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 vaches laitières : l'excrétion associée à chacun des trois types de fourrage (foin, herbe conservée, ensilage de maïs) est bien identifiée dans le Corpen. Deux publications sur la part de ces différents fourrages dans les rations moyennes types pour les vaches laitières ont été produites par le Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière (CNIEL) : l'une pour 2007 [477], l'autre pour 2018 [1251]. L'évolution de la part de ces fourrages dans les rations moyennes est présentée ci-dessous :

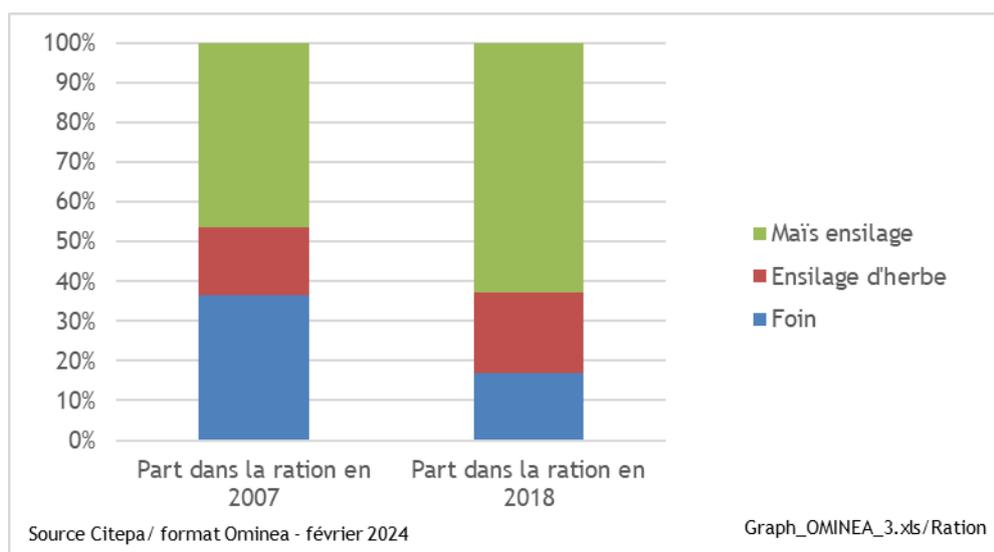


Figure 24 : Evolution de la part de différents fourrages dans la ration moyenne des vaches laitières, hors pâture

Tableau 60 : Evolution de la part de différents fourrages dans la ration moyenne des vaches laitières, hors pâture

	Part dans la ration en 2007	Part dans la ration en 2018
Foin	37%	17%
Ensilage d'herbe	17%	20%
Maïs ensilage	47%	63%

La part de ces fourrages dans la ration 2007 est utilisée pour la période 1990-2007, celle dans la ration 2018 à partir de 2018. Les données sont interpolées entre ces années.

Pour les autres catégories bovines pour lesquelles l'excrétion associée à chacun des trois types de fourrage (foin, herbe conservée, ensilage de maïs) est bien identifiée dans le Corpen, les rations moyennes, différenciées selon les systèmes lait ou viande, et tirées d'une étude réalisée en 2012 par l'Institut de l'Elevage pour le CIV (Centre d'Information des Viandes) [657], ont été utilisées. L'objectif de cette étude était d'actualiser les connaissances en termes de rationnement des bovins en France, à partir d'une analyse approfondie pour l'année 2008. Faute d'autres données disponibles, ces données de rations sont utilisées pour l'ensemble de la période.

Pour les catégories bovines pour lesquelles seule l'excrétion associée à deux types de fourrage est identifiée dans le Corpen, la moyenne est effectuée, ce qui revient à considérer que ces deux fourrages conservés contribuent de façon égale aux fourrages conservés totaux.

Pour les catégories bovines pour lesquelles seule l'excrétion associée à un seul type de fourrage est identifiée dans le Corpen, c'est cette excrétion qui est directement utilisée.

Pour les bovins hors vaches laitières, l'excrétion azotée par catégorie fine calculée au bâtiment est constante dans le temps, mais diffère de celle calculée à la pâture, également fixe dans le temps. L'excrétion azotée globale résultante (bâtiment + pâture), par catégorie fine, varie au cours du temps du fait des variations des proportions d'animaux gérés à la pâture.

*A noter : ces proportions d'animaux gérés à la pâture dépendent à la fois de la population, estimée chaque année par région, et de la part du temps passé au pâturage (cf. plus haut).*

Pour les vaches laitières, le même constat concernant les variations obtenues du fait de la gestion à la pâture s'applique. A cela vient s'ajouter une variation supplémentaire du fait de l'évolution du rendement laitier, qui est un paramètre intervenant directement dans le calcul de l'excrétion azotée. Le Corpen considère une modulation de l'excrétion azotée de 5 % par tranche de 1 000 litres de lait autour du niveau de base de rendement laitier considéré (6 000 litres). Le rendement laitier est estimé à partir de la production laitière issue de la SAA [410], ramenée aux effectifs de vaches laitières annuels.

*A noter : pour 2021, le même retraitement que celui appliqué pour les cheptels a été fait au niveau de la production laitière (voir plus haut).*

Enfin, lorsque les animaux sont agrégés par catégorie 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 porcins

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. Ces données ont également été transmises pour 2021 et 2022.
- de la conduite alimentaire : standard ou biphasé. L'évolution du nombre d'animaux en biphasé 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 UE), 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 saisi tirés des documents de Gestion Technico-économique (GTE) [505] publiés annuellement jusqu'en 2016 par l'IFIP. Depuis, ces données ne sont plus publiques. Les données pour 2020 ont été fournies directement par l'IFIP au Citepa, permettant d'estimer les années manquantes en interpolant les valeurs entre 2016 et 2020. Ces données ont également été transmises pour 2021 et 2022. Les porcelets morts en cours d'élevage se voient attribuer la moitié de l'excrétion azotée d'un porcelet post-sevrage vivant un stade complet.

L'excrétion azotée des porcs charcutiers (2) est calculée en sommant l'excrétion azotée des porcs charcutiers produits et celle des porcs morts en cours d'élevage. Pour les porcs charcutiers produits, les données de production sont multipliées par la somme de l'excrétion azotée du post-sevrage et de l'engraissement. Pour les porcs morts en cours d'élevage, leur nombre est estimé à partir des productions de porcs charcutiers et des taux de perte et saisi du GTE. Ces taux de pertes et saisies sont distingués par stade (post-sevrage / engraissement). Les porcs morts en cours de post-sevrage se voient attribuer la moitié de l'excrétion azotée d'un porcelet post-sevrage vivant un cycle complet. Les porcs morts en cours d'engraissement se voient attribuer l'excrétion azotée totale d'un post-sevrage à laquelle on ajoute la moitié de l'excrétion azotée d'un porc à l'engrais vivant un stade d'engraissement complet.

Enfin, ces excrétions totales calculées au périmètre UE sont réparties selon la catégorisation retenue dans l'inventaire pour estimer une excrétion moyenne par tête par an :

- L'excrétion azotée des porcelets non-sevrés (<8kg) est nulle car déjà comptabilisée chez les truies.
- L'excrétion azotée des porcelets post-sevrés (8 à 30kg) est estimée en comptabilisant l'excrétion totale des porcelets (notée (1) ci-dessus) et une partie de l'excrétion des porcs charcutiers (notée (2) ci-dessus), attribuée selon le rapport du

$F_{\text{ex}}$  post-sevrage par rapport à la somme des  $F_{\text{ex}}$  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 ( $F_{\text{ex}}$ ) ont été calculés à partir des documents Corpen [471], [503], [504]. Fin 2022, de nouvelles données (en cours de publication) ont été transmises pour intégration dans l'inventaire [1250]. Ces nouvelles valeurs d'excrétions azotées ont été attribuées à l'année 2020, pour simplifier les pondérations décrites ensuite. On dispose donc de quatre années de données : 1996, 2006, 2012 et 2020.

Les données sont utilisées de la manière suivante sur la période :

- de 1990 à 1996 : les données utilisées sont celles de 1996 ;
- de 1997 à 2005 : interpolation linéaire entre les données de 1996 et celles de 2006 ;
- en 2006 : les données utilisées sont celles de 2006 ;
- de 2007 à 2011 : interpolation linéaire entre les données de 2006 et celles de 2012 ;
- en 2012 : les données utilisées sont celles de 2012 ;
- de 2012 à 2020 : interpolation linéaire entre les données de 2012 et celles de 2020 ;
- de 2020 à l'année en cours : utilisation des données 2020.

Les guides précités fournissent des valeurs d'excrétions pour respectivement 41, 78, 80 et 82 catégories de volailles, alors que la statistique agricole annuelle (SAA) ne compte que 10 catégories. Ainsi, pour calculer les excrétions azotées à partir du Corpen, il faut connaître les effectifs pour chaque catégorie Corpen, puis calculer un facteur d'excrétion pondéré pour les 10 catégories de la SAA.

Différentes sources de pondération sont disponibles :

- les enquêtes bâtiments 2008 [480] : ces enquêtes fournissent les effectifs nationaux pour 46 catégories de volailles ;
- les données de productions Itavi [987] : ces données fournissent le détail par type de production en poules pondeuses (au sol, bio, en cage, label rouge, plein air) et en poulets de chair (label rouge, bio, export, lourd, CCP, standard, autres productions assimilables à des labels rouge (AOP, autres SIQO)) ;
- les données de productions issues des statistiques Agreste [410] : ces données fournissent les données de productions notamment pour les canards gras, les canards à rôtir, les dindes, les oies et les pintades ;
- les données du recensement agricole 2020 [1249] : ces données fournissent le détail des places pour certaines catégories, notamment pour les poules pondeuses d'œuf à couver (en distinguant la filière chair de la filière ponte), les poulettes et les cailles.

Trois grands modes de retraitement des données sont appliqués pour estimer l'azote excrété par place :

- Estimation directe de l'azote excrété par place : on dispose dans les données des durées d'élevage et de l'azote excrété par tête. On estime alors l'azote moyen excrété par place, ramené à l'année : excrétion azotée par animal / durée d'élevage x 365.
- Estimation de l'azote total à partir des productions de l'année : on dispose dans les données de l'azote excrété par tête ainsi que des données de productions par sous-catégorie. Cette excrétion totale est ensuite ramenée aux effectifs de l'année en cours pour la catégorie concernée.
- Estimation de l'azote total à partir des productions 2008 : on dispose dans les données de l'azote excrété par tête mais on ne dispose pas du détail des productions par sous-catégorie et par année. On utilise la donnée de production 2008 par sous-catégorie, et on indexe ensuite le résultat sur la production de l'année.

*Par exemple : azote excrété 2012 pour la catégorie Canard à rôtir =  $\Sigma$  (azote excrété par sous-catégorie 2012 x production 2008) / Production totale 2008 x Production totale 2012.*

Cette excrétion totale est ensuite ramenée aux effectifs de l'année en cours pour la catégorie concernée.

Le tableau suivant récapitule, pour chaque catégorie volailles, la source de pondération utilisée ainsi que le mode de retraitement appliqué :

Tableau 61 : Récapitulatif des sources de pondération et retraitements effectués pour estimer l'azote excrété des volailles

Catégorie SAA	Source de pondération	Mode de retraitement
Poules pondeuses d'œufs à couver	Enquêtes bâtiments 2008 + Recensement agricole 2020	Estimation directe de l'azote excrété par place
Poules pondeuses d'œufs de consommation	Productions Itavi	Estimation directe de l'azote excrété par place
Poulettes	Enquêtes bâtiments 2008 + Recensement agricole 2020	Estimation directe de l'azote excrété par place
Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	Productions Itavi	Estimation de l'azote total à partir des productions de l'année
Canards à gaver	Enquêtes bâtiments 2008 + Productions Agreste	Estimation de l'azote total à partir des productions 2008
Canards à rôtir	Enquêtes bâtiments 2008 + Productions Agreste	Estimation de l'azote total à partir des productions 2008
Dindes et dindons (au 1er octobre)	Enquêtes bâtiments 2008 + Productions Agreste	Estimation de l'azote total à partir des productions 2008
Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	Enquêtes bâtiments 2008 + Productions Agreste	Estimation de l'azote total à partir des productions 2008
Pintades	Enquêtes bâtiments 2008 + Productions Agreste	Estimation de l'azote total à partir des productions 2008
Cailles d'élevage	Enquêtes bâtiments 2008 + Recensement agricole 2020	Estimation directe de l'azote excrété par place

Pour les ovins

Les facteurs d'excrétion azotée ( $F_{ex}$ ) 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 Lacaune), et un cas type basco béarnais (système mixte ovin lait - bovin viande, Pyrénées Atlantique). En France, c'est le système type Roquefort qui est le plus représentatif des conditions classiques d'élevage (>60% des effectifs) : la valeur de ce cas type a été retenue pour cette catégorie.

Brebis allaitantes. Deux cas types sont proposés dans la publication de l'IDELE : un cas type Culture- ovin de bergerie pour la production d'agneaux de bergerie (dit « agneaux de Pâques ») des zones céréales - élevage (Midi-Pyrénées, Sud-Ouest, Bassin parisien et Grand est) ; un cas type Ovin herbe pour l'élevage de moutons dans les zones allaitantes françaises (Sud-Ouest, Ouest et Massif Central).

La moyenne des valeurs de ces deux cas types a été retenue pour cette catégorie.

Agnelles de système ovin viande. Une seule donnée est fournie pour cette catégorie.

Agnelles Lacaune (système ovin lait). Une seule donnée est fournie pour cette catégorie.

Agneau 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) » :

- de 1990 à 2007 : au prorata des effectifs différenciés entre les agnelles laitières (agnelage à 13 mois) et les agnelles allaitantes (agnelage à 15 mois) fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 ;
- à partir de 2020 : au prorata des effectifs différenciés entre les agnelles lait et viande fournis dans le recensement agricole pour 2020 [1249] ;
- de 2008 à 2019 : interpolation des données.

La dernière catégorie de la SAA regroupe à la fois les agneaux et les béliers, cependant ces derniers ne sont pas inclus dans la publication IDELE [983].

L'excrétion azotée des béliers est estimée en appliquant les équations du Giec 2006 [656]. L'équation 10.32 du Giec 2006 [656] permet d'estimer, à partir des énergies brutes ingérées et des teneurs en protéine brute dans les rations, la quantité d'azote consommée quotidiennement par l'animal :

$$N_{\text{consommation}} \text{ (kgN/animal/jour)} = EB / 18,45 \times (PB\% / 100 / 6,25)$$

*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\_Enterique 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  $F_{\text{ex}}$  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 ;

- de 1990 à 2007 : au prorata des effectifs différenciés fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 ;
- à partir de 2020 : au prorata des effectifs différenciés fournis dans le recensement agricole pour 2020 [1249] ;
- de 2008 à 2019 : interpolation des données.

*A noter* : les  $F_{\text{ex}}$  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 ( $F_{\text{ex}}$ ) 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\_Enterique 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  $F_{\text{ex}}$  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 :

- de 1990 à 2007 : au prorata des effectifs différenciés fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 ;
- à partir de 2020 : au prorata des effectifs différenciés fournis dans le recensement agricole pour 2020 [1249] ;
- de 2008 à 2019 : interpolation des données.

*A noter* : les  $F_{\text{ex}}$  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 [985]. Les annuaires des années 2012, 2016, 2020 et 2021 ont été utilisés. Ils présentent les données d'effectifs équinés 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 suitée » ;
  - 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 suitée » ;
- Etalon : utilisation de la valeur IDELE « Sports et loisirs - Cheval au travail » multipliée par le ratio recalculé à partir des données de William Martin Rosset ;
- Naissance : pondération de la valeur IDELE « Trait - poulain/pouliche de 12-24 mois » pour ne prendre en compte que 5 mois d'excrétion (hypothèse Citepa) ;
- Solde de la catégorie : utilisation de la valeur recalculée pour l'étalon ci-dessus.

Pour la catégorie SAA ânes, mulets, bardot, le calcul a été effectué à partir des équations de William Martin Rosset, pour un âne d'un poids vif moyen de 165 kg (poids tiré du document de William Martin Rosset) et pour un mulet d'un poids vif moyen de 250 kg (poids tiré du document de William Martin Rosset). La pondération entre ces deux sous-catégories est tirée des données de l'IFCE [984].

Pour les lapines reproductrices

Les facteurs d'excrétion azotés ( $F_{ex}$ ) 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 62 : Récapitulatif des sources utilisées pour le calcul des facteurs d'excrétion azotée

Catégorie SAA	Descriptif rapide
Vaches laitières	CORPEN 1999 + Données CNIEL 2007 et 2018 (part foin/ensilage d'herbe/ensilage maïs)

Vaches nourrices	CORPEN 2001 + Données CIV 2012 (part foin/ensilage d'herbe/ensilage maïs)
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	CORPEN 2001 + Moyenne (foin ; ensilage d'herbe)
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	CORPEN 2001 + Moyenne (foin ; ensilage d'herbe)
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	Hypothèse d'une excrétion azotée égale à celle des génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	CORPEN 2001 + Données CIV 2012 (part foin/ensilage d'herbe/ensilage maïs)
Mâles de type viande de plus de 2 ans	CORPEN 2001 + Données CIV 2012 (part foin/ensilage d'herbe/ensilage maïs)
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	CORPEN 2001 + Moyenne (foin ; ensilage d'herbe)
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	CORPEN 2001 + Moyenne (foin ; ensilage d'herbe)
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	Hypothèse d'une excrétion azotée égale à celle des génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	CORPEN 2001 + Données CIV 2012 (part foin/ensilage d'herbe/ensilage maïs)
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	CORPEN 2001 + Données CIV 2012 (part foin/ensilage d'herbe/ensilage maïs)
Veaux de boucherie	CORPEN 2001 - Consommation de lait exclusivement
Autres femelles de moins de 1 an	CORPEN 2001 + Moyenne (foin ; ensilage d'herbe)
Autres mâles de moins de 1 an	CORPEN 2001 + Ensilage de maïs exclusivement
Porcelets non sevrés (<8kg)	Excrétion azotée nulle car déjà comptabilisée chez les truies
Porcelets sevrés de 8 à 30 kg	Recalcul à partir des productions, du GTE, du RMT, et de l'évolution de l'alimentation biphase (enquêtes)
Truies de 50 kg et plus	RMT + Evolution de l'alimentation biphase (enquêtes)
Verrats de 50 kg et plus	Hypothèse d'une excrétion azotée égale à celle des truies
Porcs à l'engrais de 30 kg et plus	Recalcul à partir des productions, du GTE, du RMT, et de l'évolution de l'alimentation biphase (enquêtes)
Chevrettes	IDELE 2016
Chèvres (femelles ayant mis bas)	IDELE 2016
Autres caprins (y compris boucs)	IDELE 2016 + MONDFERENT II
Agnelles	IDELE 2016
Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	IDELE 2016
Brebis mères laitières (y c. réforme)	IDELE 2016
Autres ovins (y compris béliers)	IDELE 2016 + MONDFERENT II
Chevaux de selle, sport, loisirs et course	IDELE 2016 + données IFCE
Chevaux lourds	IDELE 2016 + ratio William Martin Rosset + données IFCE
Anes, mulets, bardots	William Martin Rosset + données IFCE
Poules pondeuses d'œufs à couvrir	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Poules pondeuses d'œufs de consommation	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Poulettes	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Canards à gaver	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Canards à rôtir	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Dindes et dindons (au 1er octobre)	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Pintades	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Cailles d'élevage	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Lapines reproductrices	Aubert et Coutelet

Les  $F_{ex}$  suivants sont obtenus pour la métropole, par catégorie animale détaillée :

Tableau 63 : Evolution des  $F_{ex}$  en métropole par catégorie animale détaillée (kg N/tête/an)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2022
Vaches laitières	104.2	107.5	108.5	110.9	112.7	114.8	116.1
Vaches nourrices	107.3	107.4	107.9	107.6	107.5	108.0	108.0
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	69.6	69.7	69.8	69.5	69.2	69.2	69.1
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	50.1	50.1	50.2	50.0	49.6	49.6	49.6
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	79.1	79.1	79.1	78.7	78.3	78.4	78.6
Mâles de type viande de plus de 2 ans	77.8	77.9	78.3	77.9	77.7	77.8	77.7
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	53.5	53.5	53.5	53.4	53.3	53.3	53.2
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	51.1	51.1	51.3	51.1	51.1	51.1	51.1
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	40.7	40.7	40.8	40.6	40.5	40.5	40.5
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)	3.8	4.1	4.0	4.1	4.1	4.3	4.4
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)	12.9	14.2	13.9	13.0	12.9	12.4	12.7
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	9.5	10.1	10.7
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	4.2	4.8	5.3
Chevaux de selle, sport, loisirs et course	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Chevaux lourds	70.8	70.8	70.8	70.8	70.8	70.8	70.8
Anes, mulets, bardots	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3
Poules pondeuses d'œufs à couvrir	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	0.9	0.9
Poules pondeuses d'œufs de consommation	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Poulettes	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
Canards à gaver	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.5	0.3
Canards à rôti	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3
Dindes et dindons (au 1er octobre)	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9
Oies au 1er octobre (à rôti, à gaver)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Pintades	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2
Cailles d'élevage	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Lapines reproductrices	8.1	8.1	7.7	7.5	7.3	7.5	7.5

Le tableau suivant présente les  $F_{ex}$  par catégorie animale agrégée au périmètre UE :

Tableau 64 : Evolution des  $F_{ex}$  au périmètre UE par catégorie animale agrégée (kg N/tête/an)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2022
Vaches laitières	104.2	107.5	108.5	110.9	112.7	114.8	116.1
Autres bovins	57.3	59.1	58.8	59.1	59.6	59.6	59.9
Truies	24.6	24.6	22.4	21.5	21.0	20.7	20.7
Autres porcins	8.4	9.2	9.1	8.8	8.7	8.6	8.8
Caprins	14.6	14.5	14.4	14.4	14.4	14.4	14.5
Ovins	10.7	11.0	11.1	11.0	11.2	11.3	11.3
Chevaux	54.2	53.3	52.9	52.6	52.5	52.6	52.5
Mules et ânes	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3

Poules	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Poulets	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
Autres volailles	0.7	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5
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.*

## Zones climatiques

Dans le raffinement 2019 aux lignes directrices du Giec 2006, plusieurs facteurs d'émission sont distingués en fonction de la zone climatique dans laquelle ils se situent. Les zones climatiques sont définies par la carte des climats du Giec (Chapitre 3, Figure 3A.5.1, p 3.47 [1229]) et selon un schéma de classification (Chapitre 3, Figure 3A.5.2 p 3.48) prenant en compte plusieurs variables dont notamment les précipitations annuelles moyennes et l'évapotranspiration. Si les variables d'entrée de ce système de classification existent à un niveau plus fin au niveau français, les données ne sont pas accessibles gratuitement aussi le choix a été fait de retenir la carte des climats proposée par le Giec [1229] (Figure 25). Cette carte permet de distinguer les climats « humides » (moist climates) et « secs » (dry climates) utiles pour décliner le facteur d'émission du N<sub>2</sub>O à l'épandage des engrais azotés notamment. Elle permet également une répartition supplémentaire en lien avec les températures annuelles moyennes, utile pour décliner les facteurs d'émission de CH<sub>4</sub> du stockage des déjections. Une carte interactive est disponible à l'adresse suivante pour l'ensemble des pays du monde : <https://abc-map.users.earthengine.app/view/next-ipcc-climate-zones>

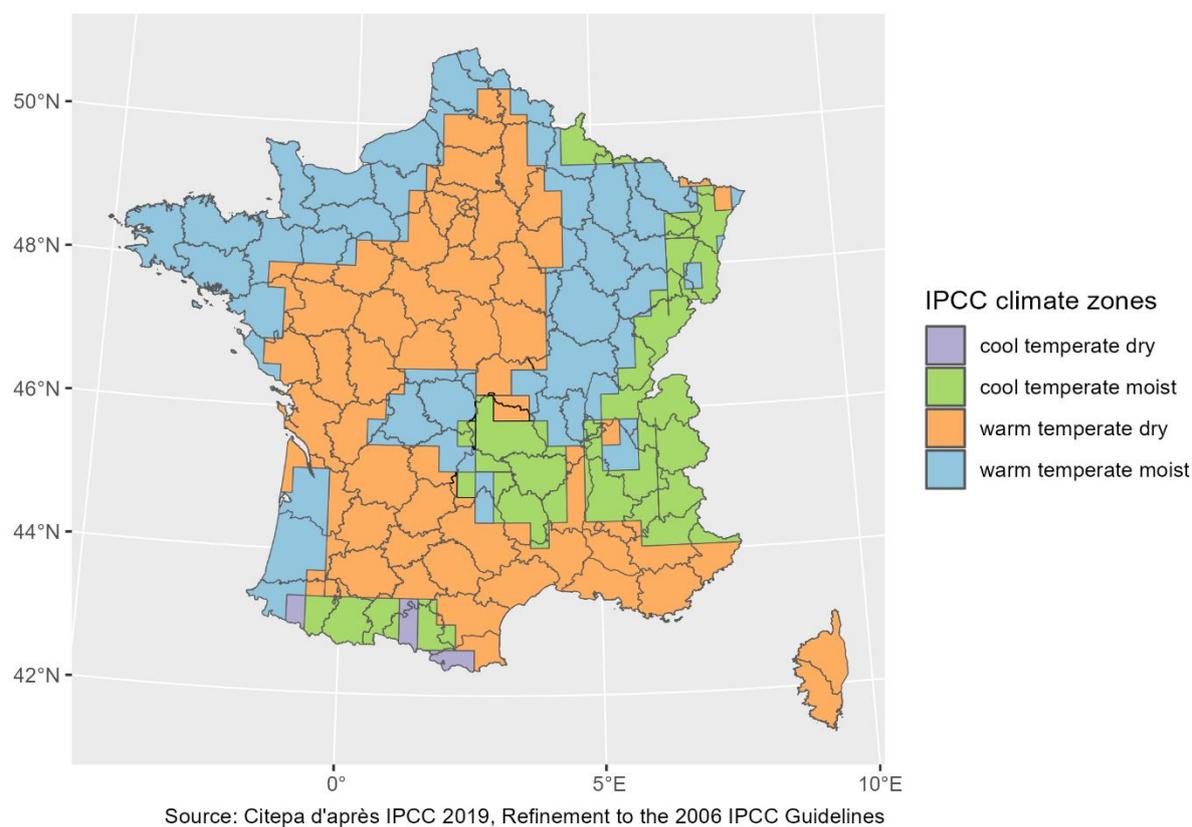


Figure 25. Carte des climats Giec 2019 centrée sur la France

Les climats humides (moist climates) se rencontrent dans les zones tempérées et boréales où le rapport entre les précipitations annuelles et l'évapotranspiration potentielle est supérieur à 1, et dans les zones tropicales où les précipitations annuelles sont supérieures à 1 000 mm.

Les climats secs (dry climates) se rencontrent dans les zones tempérées et boréales où le rapport entre les précipitations annuelles et l'évapotranspiration potentielle est inférieur à 1, et dans les zones tropicales où les précipitations annuelles sont inférieures à 1 000 mm.

Les zones « warm temperate » correspondent à des zones où la température annuelle moyenne est supérieure à 10°C. Les zones « cool temperate » correspondent à des zones où la température annuelle moyenne est supérieure à 0°C mais inférieure ou égale à 10°C.

Sur la base de cette carte une estimation des surfaces pour chacun des quatre climats a été réalisée au niveau départemental et est reportée au niveau régional ci-dessous. Pour la métropole l'analyse a été réalisée par intersection de couches de données spatialisées (traitement SIG). Ainsi, on estime que 51.8 % du territoire métropolitain se situe en climat humide et 48.2 % en climat sec selon la méthodologie du Giec (Tableau 65).

Tableau 65. Répartition des surfaces en hectares selon la zone climatique en Métropole

ha	Surfaces en climat "cool temperate dry"	Surfaces en climat "cool temperate moist"	Surfaces en climat "warm temperate dry"	Surfaces en climat "warm temperate moist"
Ile-de-France	0	0	12 065	0

Champagne-Ardenne	0	3 220	7 908	14 604
Picardie	0	0	15 096	4 422
Haute-Normandie	0	0	1 429	10 940
Centre	0	0	37 026	2 472
Basse-Normandie	0	0	384	17 394
Bourgogne	0	2	13 233	18 470
Nord-Pas-de-Calais	0	0	2 993	9 489
Lorraine	0	5 396	449	17 839
Alsace	0	5 653	938	1 729
Franche-Comté	0	9 426	0	6 852
Pays de la Loire	0	0	20 982	11 404
Bretagne	0	0	1 074	26 395
Poitou-Charentes	1	1	24 981	930
Aquitaine	1 318	2 278	21 559	16 573
Midi-Pyrénées	2 337	10 181	31 907	1 382
Limousin	5	869	3 095	13 077
Rhône-Alpes	0	27 692	6 368	10 857
Auvergne	0	15 011	6 634	4 495
Languedoc-Roussillon	1 599	5 414	20 785	0
Provence-Alpes-Côte d'Azur	0	9 923	21 946	0
Corse	0	0	8 749	0
France Métropolitaine	5 260	95 066	259 602	189 323

Tableau 66 : Répartition des surfaces en pourcentages selon la zone climatique en Métropole

%	Surfaces en climat "cool temperate dry"	Surfaces en climat "cool temperate moist"	Surfaces en climat "warm temperate dry"	Surfaces en climat "warm temperate moist"
Ile-de-France	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%
Champagne-Ardenne	0.0%	12.5%	30.7%	56.8%
Picardie	0.0%	0.0%	77.3%	22.7%
Haute-Normandie	0.0%	0.0%	11.6%	88.4%
Centre	0.0%	0.0%	93.7%	6.3%
Basse-Normandie	0.0%	0.0%	2.2%	97.8%
Bourgogne	0.0%	0.0%	41.7%	58.3%
Nord-Pas-de-Calais	0.0%	0.0%	24.0%	76.0%
Lorraine	0.0%	22.8%	1.9%	75.3%
Alsace	0.0%	67.9%	11.3%	20.8%
Franche-Comté	0.0%	57.9%	0.0%	42.1%
Pays de la Loire	0.0%	0.0%	64.8%	35.2%
Bretagne	0.0%	0.0%	3.9%	96.1%
Poitou-Charentes	0.0%	0.0%	96.4%	3.6%
Aquitaine	3.2%	5.5%	51.7%	39.7%
Midi-Pyrénées	5.1%	22.2%	69.7%	3.0%
Limousin	0.0%	5.1%	18.2%	76.7%
Rhône-Alpes	0.0%	61.7%	14.2%	24.2%
Auvergne	0.0%	57.4%	25.4%	17.2%

Languedoc-Roussillon	5.8%	19.5%	74.8%	0.0%
Provence-Alpes-Côte d'Azur	0.0%	31.1%	68.9%	0.0%
Corse	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%
France Métropolitaine	1.0%	17.3%	47.3%	34.5%

Pour les territoires d'Outre-mer, une simple lecture graphique a été réalisée. Les climats rencontrés sont les suivants :

- cool temperate moist (cf. définition plus haut),
- tropical wet (température annuelle moyenne supérieure à 18°C, précipitations annuelles moyennes supérieures à 2000 mm),
- tropical moist (température annuelle moyenne supérieure à 18°C, précipitations annuelles moyennes supérieures à 1000 mm et inférieure ou égale à 2000 mm).

Tableau 67. Répartition des surfaces en pourcentages selon la zone climatique en Outre-Mer

%	Surfaces en climat "cool temperate moist"	Surfaces en climat "tropical wet "	Surfaces en climat "tropical moist"
Guadeloupe	-	100 %	-
Guyane	-	100 %	-
Martinique	-	100 %	-
La Réunion	-	-	100 %
Mayotte	-	-	100 %
Saint-Martin	-	-	100 %
Nouvelle-Calédonie	-	-	100 %
Polynésie française	-	-	100 %
Saint Pierre et Miquelon	100 %	-	-
Wallis et Futuna	-	100 %	-

### Fertilisation minérale des cultures

Les apports d'engrais minéraux par département ont été estimés (en % de l'azote livré) afin de pouvoir décliner le facteur d'émission du N<sub>2</sub>O (FE1) selon la zone climatique du Giec (Figure 25). Toutefois, le suivi spatialisé de l'azote pouvant s'avérer utile à d'autres calculs d'émission dans le futur (NH<sub>3</sub> par exemple) la méthodologie de répartition des apports régionaux d'engrais minéraux est détaillée dans cette section introductive.

Les données sur les enquêtes pratiques culturales entre 2001 et 2017 nous donnent des informations sur les niveaux de fertilisation par type de culture à l'échelle régionale. Lorsque les données sont manquantes, la référence de la dernière année disponible est utilisée. Sur la base des cultures pour lesquelles un niveau de fertilisation est renseigné une

correspondance est réalisée pour lier ces quantités de fertilisation aux surfaces déclarées dans la statistique agricole annuelle (Figure 26).

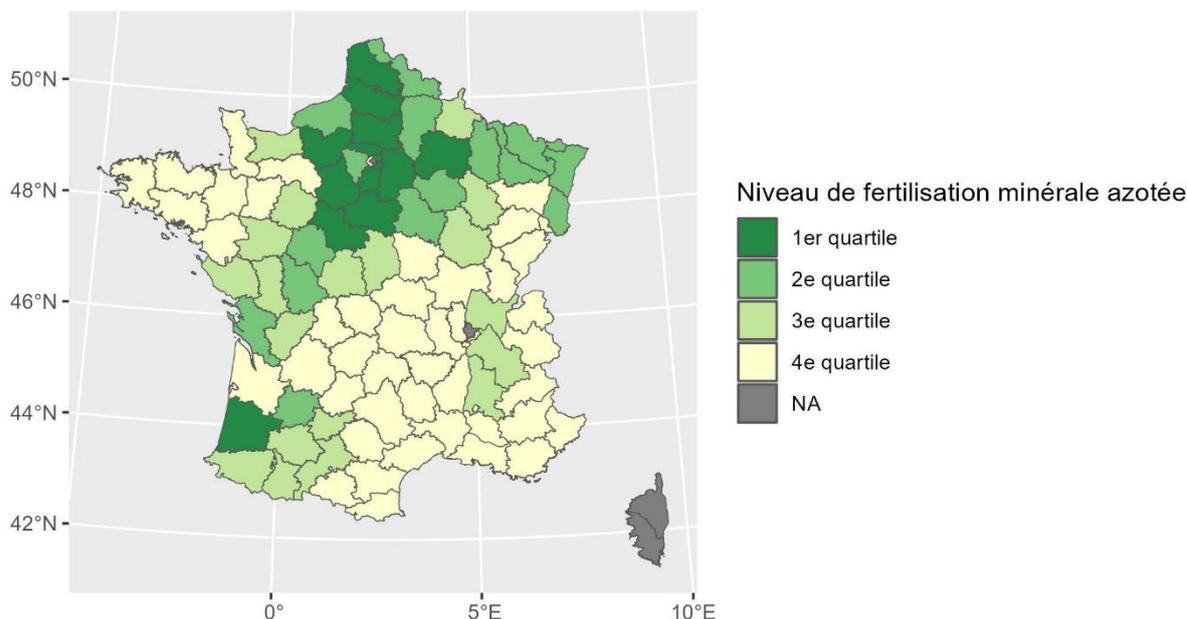


Figure 26. Estimation de la répartition de la fertilisation minérale azotée en 2022. Source : Citepa d'après enquêtes pratiques culturales 2017, SAA

En croisant les informations sur les climats à l'échelle départementale (Figure 25) et l'estimation de la répartition de la fertilisation minérale (Figure 26), il est possible d'estimer des apports annuels moyen au département. Pour une région  $r$ , un département  $d$ , une culture  $c$  l'estimation des apports annuels d'engrais minéraux par département ( $\widehat{F}_{SNd}$ ) est ainsi réalisée selon l'équation suivante :

$$\widehat{F}_{SNd} = \sum_c \overline{A}_{SNr,c} \cdot S_{d\in r,c}$$

- Avec  $S_{d\in r,c}$  les superficies en culture  $c$ ,  $\overline{A}_{r,c}$  les apports régionaux moyens sur la culture  $c$ .

Ce calcul fournit des valeurs en tonnages d'azote toutefois c'est une information qui est disponible de façon plus fiable au niveau métropolitain grâce aux livraisons d'engrais issus de l'UNIFA. Aussi cette estimation permet d'établir une clé de répartition des livraisons nationales (L) pour estimer les apports :  $F_{SNd} = L \times \frac{\widehat{F}_{SNd}}{\sum_d \widehat{F}_{SNd}}$ . La section « 3d\_agricultural\_soils » donne ensuite l'estimation des émissions.

Tableau 68. Dose moyenne en kg/ha d'azote minéral apporté (comprend les parcelles non fertilisées) en 2017

Région	Blé tendre	Blé dur	Orge	Triticale	Colza	Tournesol	Pois protéagineux	Maïs fourrage	Maïs grain	Betterave sucrière	Pomme de terre	Prairie temporaire	Prairie permanente	Féverole	Soja	Lin fibre	Lin Oléagineux
Alsace	168	188	120	91	158	44	1	62	179	82	136	42	25	2	3	25	66
Aquitaine	164	188	120	93	158	66	1	140	192	82	136	37	12	2	5	25	66
Auvergne	149	188	120	84	142	34	1	69	152	82	136	24	11	2	3	25	66
Basse-Normandie	161	188	130	107	157	44	1	53	144	99	136	42	22	2	3	25	66
Bourgogne	156	188	132	88	165	33	1	112	157	82	136	24	4	2	1	25	79
Bretagne	139	188	98	98	82	44	1	23	26	82	77	59	20	1	3	25	66
Centre	179	204	116	102	163	37	0	107	142	90	128	36	9	1	3	25	75
Champagne-Ardenne	174	188	117	108	172	44	2	121	138	73	143	42	18	2	3	25	66
Franche-Comté	157	188	127	91	170	44	1	62	144	82	136	28	17	2	4	25	66
Guadeloupe	164	188	120	91	158	44	1	62	144	82	136	42	20	2	3	25	66
Haute-Normandie	170	188	134	91	160	44	2	84	144	80	123	117	55	2	3	23	66
Île-de-France	157	188	113	91	161	44	1	62	131	86	123	42	20	7	3	25	66
Languedoc-Roussillon	164	149	120	57	158	24	1	62	144	82	136	39	20	2	3	25	66
Limousin	164	188	120	86	158	44	1	65	144	82	136	32	10	2	3	25	66
Lorraine	159	188	139	110	166	53	5	127	143	82	136	42	38	2	3	25	96
Midi-Pyrénées	157	193	98	84	156	45	1	96	177	82	136	40	12	0	2	25	50
Nord-Pas-de-Calais	169	188	119	91	159	44	2	93	109	83	140	42	77	4	3	31	66
Pays de la Loire	154	201	112	92	132	32	2	37	91	82	136	51	29	0	3	25	50
Picardie	173	188	134	91	154	44	1	86	108	85	149	42	24	1	3	23	66
Poitou-Charentes	168	213	122	95	163	43	1	90	146	82	136	42	13	3	3	25	69
Provence-Alpes-Côte d'Azur	164	156	120	91	158	44	1	62	144	82	136	42	20	2	3	25	66
Réunion	164	188	120	91	158	44	1	62	144	82	136	42	20	2	3	25	66
Rhône-Alpes	145	182	100	76	148	48	1	111	167	82	136	37	21	2	2	25	66
France	164	188	120	91	158	44	1	62	144	82	136	42	20	2	3	25	66

## 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.

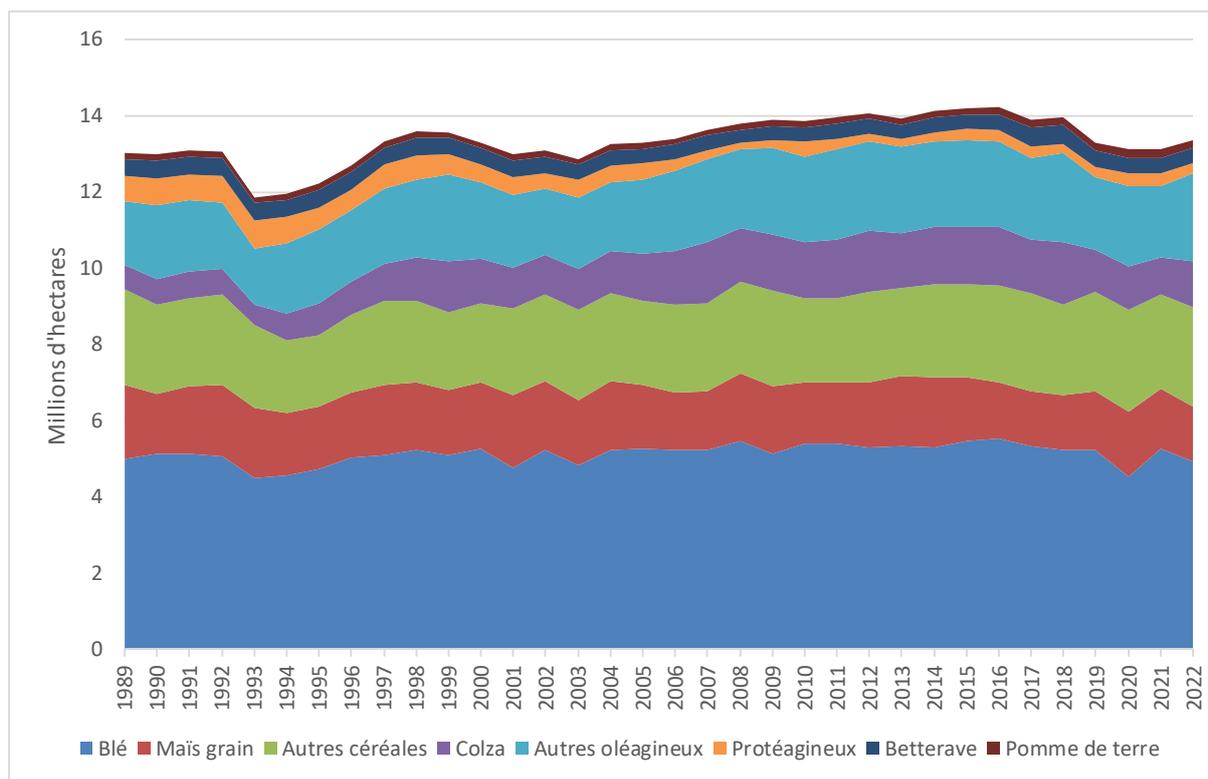


Figure 27 : Évolution des superficies cultivées des principales cultures en France métropolitaine - Source : Agreste - SAA

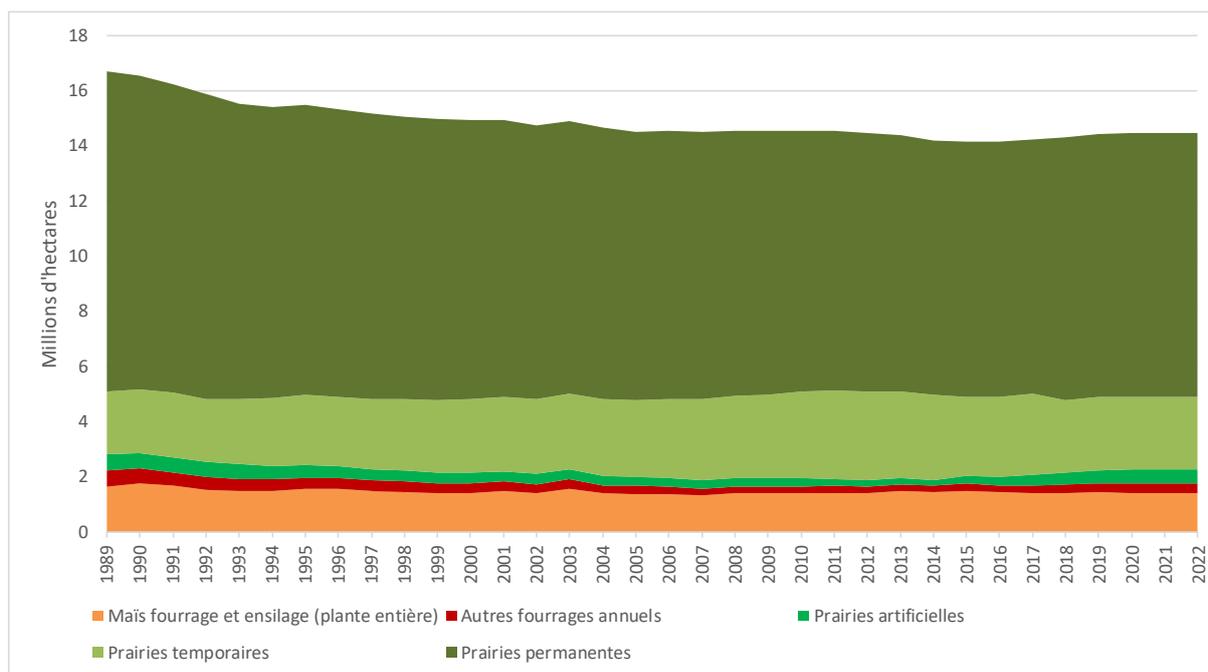


Figure 28 : Évolution des superficies fourragères en France métropolitaine - Source : Agreste - SAA

### 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. Pour l'année 2021, les surfaces cultivées en céréales retrouvent leurs niveaux de 2019 avec des rendements toutefois affectés par des pluies durant la moisson. Les surfaces en oléagineux

sont en forte diminution avec un recul marqué des surfaces en colza depuis plusieurs années en lien notamment avec les effets du changement climatique (aléas climatiques plus fréquents et progression des maladies et ravageurs).

En 2022, les récoltes céréalières baissent nettement en France après le rebond de 2021, sous l'effet d'une réduction de la sole des cultures d'hiver et du rendement des cultures de printemps (chaleur et déficit de précipitation). Les récoltes d'oléagineux poursuivent leur hausse pour la deuxième année d'affilée, principalement du fait du colza (recul pour le tournesol et le soja), en lien avec la forte hausse des prix induite par le conflit russo-ukrainien (l'Ukraine étant le premier exportateur mondial de tournesol avant le conflit). Les récoltes des autres grandes cultures (betterave et pomme de terre) sont réduites sous l'effet d'une baisse des rendements affectés par la sécheresse.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
14/02/2024	JH	16/02/2024	EM

## FERMENTATION ENTERIQUE

Cette section concerne les émissions de méthane dues à la fermentation entérique des animaux d'élevage.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	3A
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension CITEPA)	10.04.01 à 10.04.15
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Populations animales	Facteurs d'émission nationaux et par défaut

### Niveau de méthode :

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 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.

### Références utilisées :

[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. *Inrae prod. Anim.*, 2008, 21 (5), 403-418.

[410] SSP - AGRESTE

site <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/page-d-accueil/article/donnees-en-ligne>

[505] IFIP - GTE : Evolution des résultats moyens nationaux

[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 » - *Inrae Prod. Anim.*, 24, 2011, 429-442

- [656] Giec - Lignes directrices 2006, Volume 4, Chapitre 10
- [657] CIV, 2012. Alimentation des bovins : rations moyennes et autonomie alimentaire.
- [658] Inrae, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins - Besoins des animaux - Valeurs des aliments - Tables Inrae 2007
- [792] Base de données OMINEA
- [793] Rigolot C., Espagnol S., Pomar C., Dourmad J.Y., 2010a. Modelling of manure production by pigs and NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions. Part I: animal excretion and enteric CH<sub>4</sub>, 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 » - *Inrae Prod. Anim.*, 22, 2009, 375-384
- [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.
- [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.[983] IDELE, Octobre 2016. Estimation des flux d'azote associés aux ovins, aux caprins, aux équins et à leurs systèmes fourragers.
- [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.
- [1051] Sauvant D. (Inrae). 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.
- [1229] 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use
- [1249] Recensement agricole 2020. Données communiquées par le MASA fin 2022, en attente de publication.
- [1252] Site internet Web-agri pour les durées de lactation en vaches allaitantes. <https://www.web-agri.fr/alimentation-animale/article/208210/courbe-de-lactation-d-une-vache-allaitante>

#### Plan de section :

Projet MONDFERENT I - Bovins

Projet MONDFERENT II - Ovins et Caprins

Projet MONDFERENT II - Porcins

Travaux de Vermorel et al. - Autres animaux

Récapitulatif - Facteurs d'émission de CH<sub>4</sub> entérique et paramètres associés



	Truies de 50 kg et plus	Cheptel	Mondferent II
	Chevrettes	Cheptel	Mondferent II
Caprins	Chèvres (femelles ayant mis bas)	Cheptel	Mondferent II
	Autres caprins (y compris boucs)	Cheptel	Mondferent II
	Agnelles	Cheptel	Mondferent II
Ovins	Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	Cheptel	Mondferent II
	Brebis mères laitières (y c. réforme)	Cheptel	Mondferent II
	Autres ovins (y compris béliers)	Cheptel	Mondferent II
Chevaux	Chevaux de selle, sport, loisirs et course	Cheptel	Vermorel
	Chevaux lourds	Cheptel	Vermorel
	Anes, mulets, bardots	Cheptel	Vermorel
	Cervidés d'élevage	Cheptel	Giec 2019

Les émissions de méthane entérique ne sont pas estimées pour les volailles et les lapines : leur production de CH<sub>4</sub> 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 2022 qui sont renseignées.

Tableau 70 : Poids vif moyen par catégorie bovine fine

		Poids vif moyen (kg/tête)
	Vaches laitières	685 - 676
	Vaches nourrices	655
Autres bovins	Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	583
	Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	576
	Génisses de boucherie de plus de 2 ans	606
	Mâles de type laitier de plus de 2 ans	652
	Mâles de type viande de plus de 2 ans	652
	Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	422
	Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	432

Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	445
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	486
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	517
Veaux de boucherie	168
Autres femelles de moins de 1 an	205
Autres mâles de moins de 1 an	205

La méthodologie proposée permet d'estimer les émissions de CH<sub>4</sub> 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 :

$$\text{MODI (g)} = \text{EMI (kcal)} / (\text{EMI/MODI}) \text{ (kcal/g)}$$

*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 :

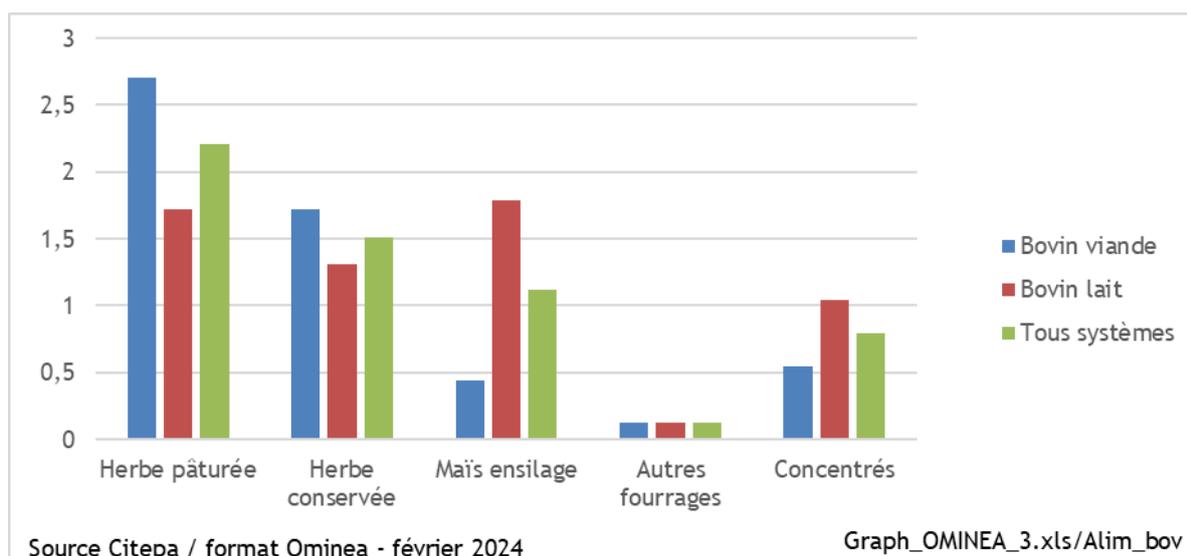


Figure 29 : tMS/UGB/an par grand système (CIV, 2012)

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 71 : 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.

$$\text{EMI (kcal)} = \text{ENI (kcal)} / k$$

Avec :  $k = \text{Rendement moyen d'utilisation de l'EMI de la ration}$

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] :

$$\text{EN}_{\text{lait}} \text{ (kcal)} = \text{UFL (kcal)} \times 1\,700$$

$$\text{EN}_{\text{viande}} \text{ (kcal)} = \text{UFV (kcal)} \times 1\,820$$

Avec :  $\text{UFL} = \text{Unité Fourragère Lait}$ ,  $\text{UVF} = \text{Unité Fourragère Viande}$

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 ( $\text{MONDI}_{\text{fèces}}$ ), et ne tient pas compte de la MONDI des urines ( $\text{MONDI}_{\text{urines}}$ ).

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  $\text{CH}_4$  : le  $\text{SV}_{\text{urine}}$  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 :

$$\text{SV} = \text{SV}_{\text{fèces}} + \text{SV}_{\text{urine}}, \text{ avec } \text{SV}_{\text{fèces}} = \text{MONDI}_{\text{fèces}} \text{ et } \text{SV}_{\text{urine}} = 0$$

Le schéma suivant illustre les principes de cette méthode (en vert), ainsi que celle proposée par le Giec (en rouge).

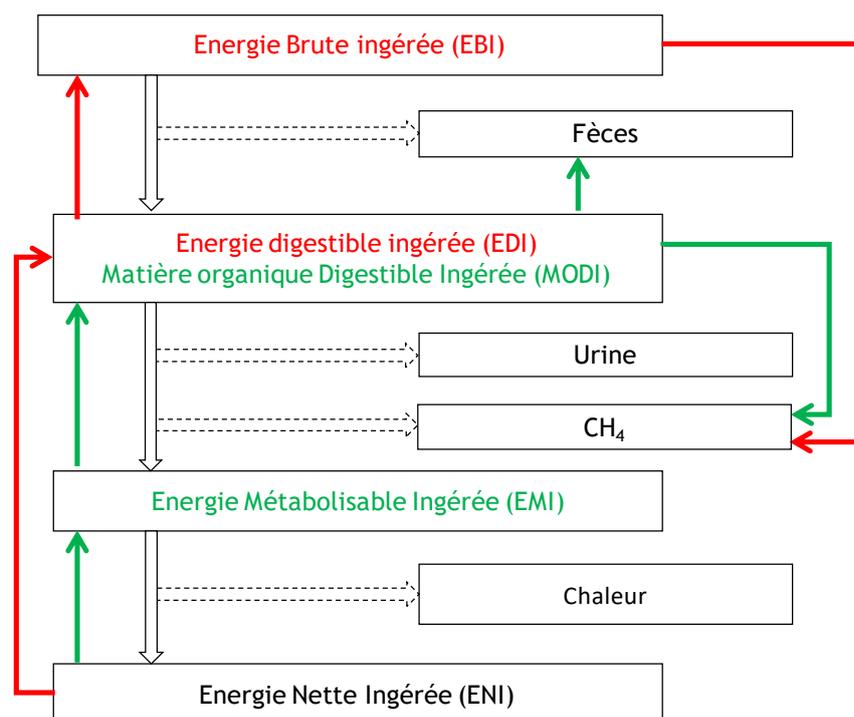


Figure 30 : Schéma comparatif de la méthode de la méthode MONDFERENT I (vert) avec la méthode Giec 2019 (rouge)

Les facteurs d'émission de méthane entérique calculés sont constants dans le temps pour les 14 catégories animales d'autres bovins. Ces facteurs par sous-catégorie sont listés plus bas (section « Récapitulatif - Facteurs d'émission de CH<sub>4</sub> entérique et paramètres associés ») et une comparaison a été effectuée avec les valeurs recalculées par la méthode Giec 2019 [1229] (voir plus bas). Cependant, du fait de la variation annuelle des effectifs de ces catégories animales, le facteur d'émission de méthane entérique pour la catégorie agrégée « autres bovins » peut varier annuellement.

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 72 : Evolution du rendement laitier (*Métropole uniquement*)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Rendement laitier moyen (kg/vache laitière/ an)	4 773	5 358	5 519	5 997	6 466	7 056	7 417	7 424

Le rendement laitier est estimé à partir de la production laitière issue de la SAA [410], ramenée aux effectifs de vaches laitières annuels. Le rendement laitier étant variable au

cours du temps, le facteur d'émission associé l'est aussi. La plage des valeurs 1990-2022 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 2019 [1229] (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 CH<sub>4</sub> 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 CH<sub>4</sub> entérique à partir de la MODI, du niveau d'ingestion et de la part des concentrés dans la ration. L'équation ci-dessous prend en compte les effets des interactions digestives sur le ratio CH<sub>4</sub>/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<sub>corrigée</sub> = digestibilité de la ration corrigée des effets des interactions digestives sur la matière organique digestible.*

Le type et les ingrédients des rations proviennent des informations relatives aux sous-catégories considérées. Les niveaux d'ingestion et les besoins en nutriments ont quant à eux été estimés à partir de données actualisées dans le cadre d'un programme de l'Inrae « Systali » et de bases de données zootechniques obtenues en conditions expérimentales contrôlées.

Dans le projet MONDFERENT II, la Matière Organique Non Digestible Ingérée (MONDI) des fèces, correspondant au  $SV_{\text{fèces}}$  utilisé au CRF 3B, est obtenue de la façon suivante :

$$SV_{\text{fèces}} = \text{MONDI (kg)} = \text{MSI} \times \text{MO} / 1000 - \text{MODI}$$

Pour ce projet, l'objectif a été d'être le plus possible en cohérence avec les lignes directrices du Giec 2006 (cohérentes sur ce point avec le Giec 2019), et l'hypothèse a été faite que la matière organique des urines est également émettrice de  $\text{CH}_4$ . Le  $SV_{\text{urine}}$  utilisé au CRF 3B, est obtenu de la façon suivante :

$$SV_{\text{urine}} \text{ (kg)} = \text{MSI} \times \text{MO} / 1000 \times \text{EU/EB}$$

Avec : EU/EB : rapport entre l'énergie urinaire et l'énergie brute.

Le rapport EU/EB est calculé selon l'équation suivante, provenant de Sauvart et Giger-Reverdin (2009) [794]

$$\text{EU/EB} = 5,7 - 0,71 \text{ NI}$$

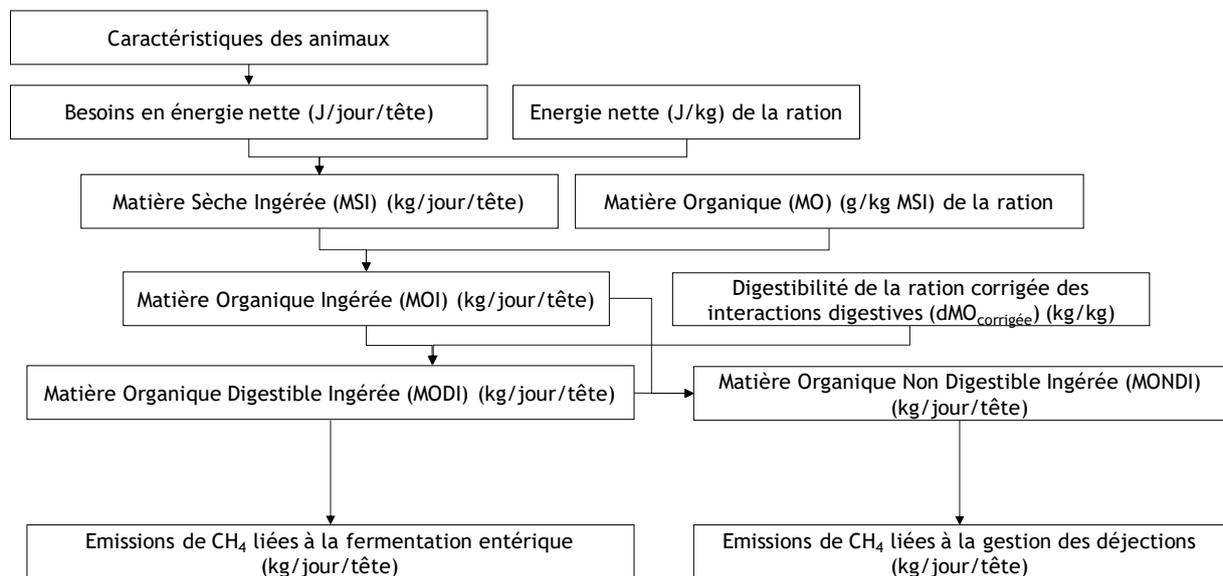


Figure 31 : Schéma récapitulatif de l'évaluation du  $\text{CH}_4$  entérique par la méthode MONDFERENT II

Les facteurs d'émission de méthane entérique calculés sont constants dans le temps pour les sous-catégories d'ovins et de caprins.

Pour mettre en cohérence les catégories animales étudiées dans MONDFERENT II avec les catégories animales de la SAA, des pondérations ont été faites à partir des effectifs différenciés fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 et dans le recensement agricole [1249] pour l'année 2020 :

- Catégorie « agnelles » de la SAA : pondération entre agnelles laitières et allaitantes ;
- Catégorie « autres ovins » de la SAA : pondération entre agneaux et béliers ;
- Catégorie « autres caprins » de la SAA : pondération entre chevreaux et boucs.

Les pondérations sont appliquées de la façon suivante sur la période : utilisation de la pondération 2007 de 1990 à 2007 ; utilisation de la pondération 2020 à partir de l'année 2020 ; interpolation des données pour les années 2008-2019.

Ces facteurs par sous-catégorie sont listés plus bas (section « Récapitulatif - Facteurs d'émission de CH<sub>4</sub> entérique et paramètres associés »), et une comparaison a été faite avec les valeurs recalculées par la méthode Giec 2019 [1229]. Cependant, du fait de la variation annuelle des effectifs de ces sous-catégories animales, les facteurs d'émission de méthane entérique pour les catégories agrégées « ovins » et « caprins » peuvent varier annuellement.

Les émissions totales sont calculées en multipliant les facteurs d'émission par les données de cheptels, tirées de la SAA [410].

#### 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 CH<sub>4</sub> entérique des porcelets non sevrés (<8kg) sont nulles du fait de leur alimentation faite exclusivement à base de lait. Pour les verrats, la méthodologie Vermorel est appliquée (cf. paragraphe suivant).

Pour les porcins (post-sevrage et engraissement) et les truies, la méthodologie appliquée dans le projet MONDFERENT II est celle développée par Rigolot et al [793]. Les émissions de CH<sub>4</sub> 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<sub>intake1</sub> et ResD<sub>intake2</sub> : teneur en fibres digestibles ingérées de l'aliment ; Prop1 et Prop2 : répartition entre les deux aliments ; Perte\_Energie : perte d'énergie sous forme de CH<sub>4</sub> 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. Ces données ont également été transmises pour 2021. Pour les truies, il est fixe dans le temps et provient du projet MONDFERENT II.

Les paramètres ResD<sub>intake</sub> 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<sub>intake1</sub> ; Prop1 ; ResD<sub>intake2</sub> et Prop2 sont non nuls pour l'alimentation biphase. En revanche, pour l'alimentation standard, seuls les paramètres ResD<sub>intake1</sub> 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<sub>4</sub> 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<sub>4</sub> entérique des porcelets en post-sevrage et des porcs à l'engrais, l'approche mise en place est l'approche production. Cette approche est jugée plus pertinente car les facteurs d'émission sont exprimés par tête, et ces animaux vivant moins d'un an, il est plus réaliste d'utiliser des données de productions que de cheptels.

Les données d'abattages bruts sont fournies par la Statistique Agricole Annuelle (SAA) publiée par le SSP [410]. Elles présentent les productions totales pour la métropole et les DOM (correspondant au périmètre UE). Ces données sont ensuite corrigées pour tenir compte des taux de pertes et saisies, publiés chaque année par l'IFIP au sein de ses documents de Gestion Technico-économiques jusqu'en 2016 [505]. Depuis, ces données ne sont plus publiques. Les données pour 2020 ont été fournies directement par l'IFIP au Citepa, permettant d'estimer les années manquantes en interpolant les valeurs entre 2016 et 2020. Ces données ont également été transmises pour 2021 et 2022. Les facteurs d'émission du projet MONDFERENT II sont appliqués à ces données de productions corrigées. Les émissions de CH<sub>4</sub> 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<sub>4</sub> 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<sub>4</sub> 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<sub>4</sub> 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 - Y<sub>m</sub>) 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 et dans le recensement agricole [1249] pour 2020 :*

- Catégorie « agnelles » de la SAA : pondération entre agnelles laitières et allaitantes ;
- Catégorie « autres ovins » de la SAA : pondération entre agneaux et béliers ;
- Catégorie « autres caprins » de la SAA : pondération entre chevreaux et boucs.

*Les pondérations sont appliquées de la façon suivante sur la période : utilisation de la pondération 2007 de 1990 à 2007 ; utilisation de la pondération 2020 à partir de l'année 2020 ; interpolation des données pour les années 2008-2019.*

Pour les autres catégories animales, c'est à dire pour les porcins, les équins et les cervidés d'élevage, l'énergie brute n'a pas été calculée.

#### Facteur de conversion du méthane - Ym

Pour les bovins, les ovins et les caprins, le Ym est recalculé en divisant les émissions de CH<sub>4</sub> entérique obtenues par la méthode française (multipliées par 55,65 qui est la valeur énergétique du méthane) par l'énergie brute (voir ci-dessus).

Pour les autres catégories animales, c'est à dire pour les porcins, les équins et les cervidés d'élevage, le Ym n'a pas été calculé.

Le tableau ci-dessous liste, par sous-catégorie, les facteurs d'émission de CH<sub>4</sub> entérique obtenus et les paramètres associés. Pour les sous-catégories dont les facteurs d'émission évoluent dans le temps, la plage 1990-2022 est indiquée.

Tableau 73 : Récapitulatif des facteurs d'émission CH<sub>4</sub> entérique et paramètres associés

	Donnée d'activité	Valeur du FE (kg CH <sub>4</sub> /tête)	Valeur de l'EB (MJ/jour/tête)	Valeur du Ym (%)
Vaches laitières	Cheptel	99,1 - 126,9	242 - 316	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	0,28 - 0,32	NE	NE
Verrats de 50 kg et plus	Cheptel	0,78	NE	NE
Porcs à l'engrais (>30kg)	Production	0,70 - 0,79	NE	NE
Truies de 50 kg et plus	Cheptel	3,07 - 3,07	NE	NE
Chevrettes	Cheptel	9,6	25,3	5,5
Chèvres (femelles ayant mis bas)	Cheptel	17,5	56,4	4,4
Autres caprins (y compris boucs)	Cheptel	8,23 - 9,50	24,1 - 27,9	5,0
Agnelles	Cheptel	7,90 - 7,98	20,6 - 20,9	5,5
Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	Cheptel	15,9	38,7	5,9
Brebis mères laitières (y c. réforme)	Cheptel	20,3	54,5	5,3
Autres ovins (y compris béliers)	Cheptel	2,33 - 3,13	24,7 - 25,7	1,8 - 2,0
Chevaux de selle, sport, loisirs et course	Cheptel	21,4	NE	NE
Chevaux lourds	Cheptel	21,4	NE	NE
Anes, mulets, bardots	Cheptel	12,1	NE	NE
Cervidés d'élevage	Cheptel	20,0	NE	NE

### Comparaison des résultats avec la méthode Tier 2 du Giec (pour QA/QC du NIR)

Afin d'éprouver les méthodes MONDFERENT I et II, et conformément aux recommandations des revues précédentes, une comparaison avec la méthode de niveau 2 du Giec 2019 [1229] a été réalisée pour les bovins, ovins et caprins.

*A noter : précédemment, la comparaison était faite avec la méthode du Giec 2006. Globalement, la méthode Giec 2019 diffère peu de la méthode du Giec 2006. Elle intègre désormais des données pour les caprins et révisé les valeurs de certains paramètres. En particulier, elle permet de distinguer les Ym selon différents systèmes. Le Giec 2019*

propose également une méthode Tier 2 simplifiée, fondée sur la matière sèche ingérée. Nous n'avons pour l'instant pas appliqué cette méthode pour comparer les résultats obtenus avec notre méthode nationale mais il serait intéressant dans les prochaines éditions de le faire.

Comme mentionné plus haut, la méthode française de l'Inrae diffère de la méthode proposée dans le Giec. Les caractéristiques et utilité de cette méthode Inrae sont décrites dans la publication Eugene et al [986], dont voici ci-dessous un extrait traduit.

Extrait d'Eugene et al [986]

« La méthode appliquée dans l'inventaire n'est pas une approche de niveau 2, car elle n'utilise pas un coefficient Ym fixe. La priorité a été donnée à une relation avec la Matière Organique Digestible (MOD) pour être cohérent avec les systèmes d'alimentation révisés de l'Inrae, et parvenir à une cohérence dans la détermination des émissions de CH<sub>4</sub> entérique et des déjections, ces dernières étant négativement liées à la MOD. Il faut souligner que le CH<sub>4</sub> 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 CH<sub>4</sub> entérique ainsi que les émissions de CH<sub>4</sub> 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 74 : Paramètres et sources associées pour le calcul du CH<sub>4</sub> entérique des bovins

Abréviation	Paramètre	Source
C <sub>f</sub> <sub>i</sub>	Coefficient permettant de calculer l'énergie nette nécessaire à la survie	Vaches laitières : valeurs du Giec pondérées par les durées moyennes de lactation, issues du contrôle laitier [1052]

		Vaches allaitantes : valeurs du Giec pondérées par les durées moyennes de lactation, issues du site internet Web-agri [1252] Autres bovins : Giec
Poids	Poids vif de l'animal	Vaches laitières : recalcul à partir des races représentatives de la situation nationale Autres bovins : Mondferent
C <sub>a</sub>	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 <sub>gestation</sub>	Coefficient de gestation	GIEC
R <sub>gestation</sub>	Proportion de femelles en gestation sur l'année	Hypothèse Citepa
DE%	Energie digestible en % d'énergie brute	Pondération nationale des données Giec
Y <sub>m</sub>	Facteur de conversion du méthane	Vaches laitières : Giec - Medium producing cows (5000 - 8500 kg /yr) Autres bovins : Giec - Rations of >75% high quality forage and/or mixed rations, forage of between 15 and 75% the total ration mixed with grain, and/or silage

Le tableau ci-dessous répertorie les paramètres ainsi que les sources utilisées pour les ovins et les caprins :

Tableau 75 : Paramètres et sources associées pour le calcul du CH<sub>4</sub> entérique des ovins et caprins

Abréviation	Paramètre	Source
C <sub>f<sub>i</sub></sub>	Coefficient permettant de calculer l'énergie nette nécessaire à la survie	Giec
Poids	Poids vif de l'animal	Mondferent II
C <sub>a</sub>	Coefficient correspondant aux conditions alimentaires de l'animal	Giec
PP <sub>agneaux</sub>	Prise de poids (PV <sub>r</sub> -PV <sub>i</sub> )	Mondferent II
PV <sub>i</sub>	Poids vif au moment du sevrage	Mondferent II
PV <sub>r</sub>	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 <sub>lait</sub>	Energie nécessaire à la production d'un kg de lait	Giec
VE <sub>laine</sub>	Valeur énergétique de chaque kg de laine produit	Giec

Production <sub>laine</sub>	Production annuelle moyenne de laine par mouton	IDELE [983]
C <sub>gestation</sub>	Coefficient de gestation	Giec
R <sub>gestation</sub>	Proportion de femelles en gestation sur l'année	Hypothèse Citepa
DA%	Energie digestible en % d'énergie brute	Mondferent II
Y <sub>m</sub>	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 2022, et ceux calculés à partir des paramètres ci-dessus, en suivant la méthodologie Giec 2019 [1229].

Tableau 76 : Comparaison des FE CH<sub>4</sub> entérique - MONDFERENT I et II / Giec 2019

	Facteurs d'émission MONDFERENT		Estimation à partir du Giec 2019		Variation MONDFERENT/Giec 2019 constatée (%)	
	1990	2022	1990	2022	1990	2022
Vaches laitières	99,1	126,9	112,9	138,6	-12%	-8%
Vaches nourrices	81,0	81,0	77,0	77,3	5%	5%
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	77,7	77,7	56,3	56,2	38%	38%
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	63,2	63,2	56,2	56,2	12%	12%
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	69,1	69,1	48,8	48,6	42%	42%
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	76,3	76,3	67,3	67,2	13%	14%
Mâles de type viande de plus de 2 ans	76,3	76,3	65,3	65,2	17%	17%
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	55,8	55,8	62,3	62,3	-10%	-10%
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	52,4	52,4	56,5	56,5	-7%	-7%
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	58,6	58,6	61,5	61,4	-5%	-5%
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	64,3	64,3	66,2	66,1	-3%	-3%
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	69,3	69,3	67,5	67,3	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	44,6	44,7	-49%	-49%
Autres mâles de moins de 1 an	23,8	23,8	42,3	42,4	-44%	-44%
Chevrettes	9,6	9,6	9,4	9,4	2%	2%
Chèvres (femelles ayant mis bas)	17,5	17,5	14,2	14,2	23%	23%
Autres caprins (y compris boucs)	8,2	9,5	4,7	5,2	76%	82%
Agnelles	7,9	8,0	8,5	8,4	-7%	-5%
Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	15,9	15,9	8,5	8,5	87%	87%
Brebis mères laitières (y c. réforme)	20,3	20,3	14,5	14,5	40%	40%
Autres ovins (y compris béliers)	2,3	3,1	3,8	4,1	-39%	-24%

Pour mieux comprendre les écarts constatés, les tableaux suivants fournissent les valeurs obtenues pour les paramètres EB et Ym selon les méthodes.

Tableau 77 : Comparaison des EB - MONDFERENT I et II / Giec 2019

	EB recalculée nationale (MJ/jour/tête)		EB estimée à partir du Giec 2019 (MJ/jour/tête)		Variation national/GIEC 2019 (%)	
	1990	2022	1990	2022	1990	2022
Vaches laitières	242	316	273	336	-11%	-6%
Vaches nourrices	190	190	186	187	2%	2%
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	181	181	136	136	33%	33%
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	142	142	136	136	4%	4%
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	155	155	118	118	31%	31%
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	172	172	163	163	6%	6%
Mâles de type viande de plus de 2 ans	172	172	158	158	9%	9%
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	130	130	151	151	-14%	-14%
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	122	122	137	137	-11%	-11%
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	138	138	149	149	-7%	-7%
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	159	159	160	160	-1%	0%
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	176	176	163	163	8%	8%
Veaux de boucherie	0	0	84	84	-	-
Autres femelles de moins de 1 an	54	54	108	108	-50%	-50%
Autres mâles de moins de 1 an	63	63	102	103	-38%	-38%
Chevrettes	25,3	25,3	26,2	26,2	-3%	-3%
Chèvres (femelles ayant mis bas)	56,4	56,4	39,4	39,4	43%	43%
Autres caprins (y compris boucs)	24,1	27,9	13,0	14,4	86%	93%
Agnelles	20,6	20,9	19,3	19,2	7%	9%
Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	38,7	38,7	19,3	19,3	100%	100%
Brebis mères laitières (y c. réforme)	54,5	54,5	32,9	32,9	66%	66%
Autres ovins (y compris béliers)	24,7	25,7	8,6	9,3	186%	176%

Tableau 78 : Comparaison des Ym - MONDFERENT I et II / Giec 2019

	Ym recalculé national (%)		Ym estimé à partir du Giec 2019 (%)		Variation national/Giec 2019 (%)	
	1990	2022	1990	2022	1990	2022
Vaches laitières	6,2	6,1	6,3	6,3	-1%	-3%
Vaches nourrices	6,5	6,5	6,3	6,3	3%	3%
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	6,5	6,5	6,3	6,3	4%	4%

Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	6,8	6,8	6,3	6,3	8%	8%
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	6,8	6,8	6,3	6,3	8%	8%
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	6,7	6,7	6,3	6,3	7%	7%
Mâles de type viande de plus de 2 ans	6,7	6,7	6,3	6,3	7%	7%
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	6,6	6,6	6,3	6,3	4%	4%
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	6,5	6,5	6,3	6,3	4%	4%
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	6,5	6,5	6,3	6,3	3%	3%
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	6,2	6,2	6,3	6,3	-2%	-2%
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	6,0	6,0	6,3	6,3	-5%	-5%
Veaux de boucherie	-	-	-	-	-	-
Autres femelles de moins de 1 an	6,5	6,5	6,3	6,3	3%	3%
Autres mâles de moins de 1 an	5,7	5,7	6,3	6,3	-9%	-9%
Chevrettes	5,5	5,5	5,5	5,5	-1%	-1%
Chèvres (femelles ayant mis bas)	4,4	4,4	5,5	5,5	-19%	-19%
Autres caprins (y compris boucs)	5,0	5,0	5,5	5,5	-9%	-9%
Agnelles	5,5	5,5	6,7	6,7	-17%	-18%
Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	5,9	5,9	6,7	6,7	-12%	-12%
Brebis mères laitières (y c. réforme)	5,3	5,3	6,7	6,7	-20%	-20%
Autres ovins (y compris béliers)	1,8	2,0	6,7	6,7	-73%	-71%

Dans la publication Eugene et al [986], une comparaison entre méthode Inrae et méthode Giec 2006 de Niveau 2 a été conduite et présentée pour différentes catégories animales. L'une des différences soulignées par l'Inrae concernant la méthode dans cette publication est la prise en compte dans la méthode Inrae des interactions digestives, en lien avec le niveau d'ingestion et la part de concentrés. Cela constitue une première piste mais les variations constatées tant au niveau des énergies brutes que des Ym sont encore à l'étude.

A noter : la catégorie « Autres ovins » est majoritairement composée d'agneaux (89 % en 2020), qui sont principalement nourris à base de concentrés, expliquant la faible valeur du facteur Ym obtenue avec la méthode nationale.

Les valeurs développées dans le cadre des projets MONDFERENT I et II ont été privilégiées car jugées plus représentatives de la situation française que celles recalculées à partir de la méthode du Giec 2019 qui représentent plus une moyenne des pays développés.

### Comparaison des résultats avec la méthode Tier 1 du Giec (pour QA/QC du NIR)

Le tableau ci-dessous compare les facteurs d'émission de méthane entérique agrégés pour l'ensemble des porcins (dont les truies), qui sont issus d'une part de Vermorel et al. (2008) et d'autre part de MONDFERENT II, et pour les chevaux, ânes et mules (issus de Vermorel et al. (2008)), avec ceux proposés par le Giec 2019 Niveau 1 [1229]. Lorsqu'une distinction par système est disponible, on retient les facteurs d'émission associés aux systèmes « high productivity ».

Tableau 79 : Comparaison des FE nationaux aux FE Tiers 1 du Giec 2019

	Facteurs d'émission nationaux (1990-2022)	Estimation à partir du Giec 2019 (Tableau 10.10)	Variation National/Giec 2019 constatée (%)
Porcins	0,70 - 0,79	1,5	-50% (-47% à -53%)
Chevaux	21,4	18	19%
Anes, mulets, bardots	12,1	10	21%

Les variations constatées sont difficiles à interpréter du fait des méthodes différentes mises en œuvre pour le calcul entre le national et le Giec 2019. Tout comme pour les bovins, ovins et caprins, les valeurs nationales ont été privilégiées car jugées plus représentatives de la situation française que celles proposées par le Giec.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
15/02/2024	JH	16/02/2024	EM

## GESTION DES DEJECTIONS ANIMALES

Cette section concerne les émissions issues de la gestion des déjections animales au bâtiment et au stockage.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	3B
CEE-NU / NFR	3B
SNAPc (extension CITEPA)	10.05.01 à 10.05.15, 10.09.01 à 10.09.04
CE / directive IED	6.6 (volailles et porcs)
CE / E-PRTR	7a (volailles et porcs)
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique (NIR) :

Activité	Facteurs d'émission
Populations animales	Valeurs Giec par défaut ainsi que données issues de sources prenant en compte certaines spécificités françaises

### Approche méthodologique (IIR) :

Activité	Facteurs d'émission
Populations animales	Valeurs EMEP par défaut ainsi que données issues de sources prenant en compte certaines spécificités françaises

### Niveau de méthode (NIR) :

La méthode appliquée correspond à un rang 2 des lignes directrices du Giec.

Dans la méthode actuelle, les Systèmes de Gestion (SG) des déjections animales et les facteurs d'excrétion azotée sont issus de données nationales. De même, les valeurs prises par le paramètre Solides Volatiles (SV) pour les bovins, porcins, ovins et caprins sont tirés de projets nationaux. Les autres paramètres de calcul proviennent des lignes directrices du Giec.

Des travaux sont en cours et doivent être approfondis pour développer plus de paramètres nationaux afin de parvenir ainsi à une méthode de niveau 2 encore plus précise.

### Niveau de méthode (IIR) :

La méthode appliquée correspond à un rang 2 des lignes directrices EMEP du fait de la méthodologie appliquée, de la description fine des cheptels, de l'emploi de données nationales ou régionales pour les occurrences des modes de gestion des déjections et les facteurs d'excrétion azotée et de l'intégration de techniques de réduction des émissions.

## Références utilisées :

- [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.
- [410] SSP - AGRESTE  
site <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/page-d-accueil/article/donnees-en-ligne>
- [473] William MARTIN-ROSSET - Nutrition et alimentation des chevaux. Editions QUAE, 2012
- [477] CNIEL, Institut de l'élevage - Observatoire de l'alimentation des vaches laitières. Données 2007
- [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
- [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
- [485] MAA / SSP - Résultats des Enquêtes Pratiques Culturelles 2011 et 2017
- [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
- [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.
- [656] Giec - Lignes directrices 2006, Volume 4, Chapitre 10 / Emissions from livestock and manure management
- [657] CIV, 2012. Alimentation des bovins : rations moyennes et autonomie alimentaire.
- [658] Inrae, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins - Besoins des animaux - Valeurs des aliments - Tables Inrae 2007
- [660] MeteoFrance, [www.meteofrance.com](http://www.meteofrance.com)
- [792] Base de données Ominea
- [794] SAUVANT D., GIGER-REVERDIN S. - « Modélisation des interactions digestives et de la production de méthane chez les ruminants » - Inrae Prod. Anim., 22, 2009, 375-384
- [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
- [803] Analyse du potentiel de 10 actions de réduction des émissions d'ammoniac des élevages français aux horizons 2020 et 2030. ADEME. Juillet 2013
- [809] Options for Ammonia Mitigation - Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen
- [961] Institut de l'élevage, juin 2014. Alimentation des ovins : rations moyennes et niveaux d'autonomie alimentaire.
- [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
- [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.
- [983] IDELE, Octobre 2016. Estimation des flux d'azote associés aux ovins, aux caprins, aux équins et à leurs systèmes fourragers.
- [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).
- [989] Levasseur 2003, 2006. Etat des lieux du traitement des lisiers de porcs en France
- [990] Lessirard 2007. La filière porcine française et le développement 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
- [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.
- [1052] IDELE. Résultats du Contrôle Laitier France (bovins, ovins, caprins). Plusieurs années.
- [1138] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, Section 3B Manure Management.
- [1145] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, Section 5B2 Biological treatment of waste - anaerobic digestion at biogas facilities.
- [1229] 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use
- [1249] Recensement agricole 2020. Données communiquées par le MASA fin 2022, en attente de publication.

[1251] CNIEL, 2018. Le pâturage des vaches laitières françaises - Etat des lieux de la pratique pour l'ensemble des territoires français.

[1255] Performances techniques et indicateurs économiques en poules pondeuses. Itavi, multiples années.

[1259] Devun et al (2011). Fourrages conservés et modes de récolte : la situation selon les systèmes d'élevage en France.

[1295] Esnouf A., Brockmann D., Cresson R., 2021. Analyse du cycle de vie du biométhane issu de ressources agricoles - Rapport d'ACV. INRAE Transfert, 170pp.

#### Plan de section :

Emissions de CO<sub>2</sub>

Emissions de CH<sub>4</sub>

*Le paramètre SG*

*Le paramètre SV*

*Le paramètre Bo*

*Le paramètre FCM*

*Prise en compte de la méthanisation des déjections animales*

Emissions de N<sub>2</sub>O

*Les émissions directes*

*Les émissions indirectes liées à la volatilisation*

*Les émissions indirectes liées aux pertes d'azote par ruissellement et lessivage*

Emissions de Gaz fluorés

Emissions de SO<sub>2</sub>

Emissions de NO<sub>x</sub>

Emissions de COVNM

Emissions de CO

Emissions de NH<sub>3</sub>

*Poste Bâtiment*

*Poste Stockage*

*Poste Epandage*

*Poste Pâturage*

Emissions de particules (TSP, PM10, PM2,5)

**Métaux lourds (ML)**

Polluants organiques persistants POP)

Comparaison des SV

Comparaison des Fex

#### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Les effluents d'élevage sont des sources potentiellement importantes d'émissions (CH<sub>4</sub>, COVNM, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>) 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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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 du Giec 2019 [1229] et du guide EMEP / EEA 2019 [1138],
- Les taux d'application des pratiques de réduction d'émission de NH<sub>3</sub> et les facteurs d'abattement associés.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> 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<sub>4</sub>**

Les émissions de CH<sub>4</sub> sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque espèce animale. Ceux-ci sont établis en utilisant la formule proposée par le Giec 2019 :

$$FE = SV \times 365 \text{ jours/an} \times Bo \times 0,67 \text{ kg/m}^3 \times \sum_i (FCM_i \times SG_i)$$

*Avec: Bo = Capacité de production maximale de CH<sub>4</sub> (m<sup>3</sup>/kg de SV) ; SV = Solides volatils excrétés (kg/jour) ; FCM = facteur de conversion en CH<sub>4</sub> (%) ; 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).

En France, les pratiques de compostage des déjections existent, principalement pour les fumiers. Cependant, dans l'inventaire, ce système de gestion des déjections n'est actuellement pas rapporté séparément faute de données. Le travail est en cours pour identifier des sources de données potentiellement mobilisables. Ainsi, les fumiers qui seraient compostés sont actuellement comptabilisés parmi les autres systèmes de gestion. Il est difficile à l'heure actuelle d'identifier les systèmes qui comporteraient ces fumiers

compostés, mais l'on peut imaginer qu'il s'agit principalement des systèmes en « stockage solide » et « autre » (fumier de volailles et litière accumulée) car ce sont les principaux types de fumiers susceptibles de subir un compostage.

Le paramètre 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<sub>4</sub> 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<sub>fèces</sub>), et ne tient pas compte de la MONDI des urines (MONDI<sub>urines</sub>).

Contrairement au Giec 2019, la méthode MONDFERENT I est fondée sur l'utilisation de la Matière Organique Non Digestible et non des énergies. Dans la méthodologie MONDFERENT I, l'hypothèse est faite que la matière organique contenue dans les urines n'émettra que très peu de CH<sub>4</sub> : le SV<sub>urine</sub> 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 « 3a\_enteric fermentation ». Le rendement laitier est estimé à partir de la production laitière issue de la SAA [410], ramenée aux effectifs de vaches laitières annuels. 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 ( $OM_{\text{excreted}}$ ). 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 :

$$OM_{\text{excreted}} \text{ (kg/tête)} = \text{Aliment} \times [ (\text{Feed}_{OM1}) \times (1-d_{OM1}) \times \text{Prop1} + (\text{Feed}_{OM2}) \times (1-d_{OM2}) \times \text{Prop2} ]$$

*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. Ces données ont également été transmises pour 2021 et 2022. Pour les truies, ce paramètre est fixe dans le temps et provient du projet MONDFERENT II.

Les teneurs en matière organique des aliments sont fixes dans le temps mais sont distinguées selon le mode d'alimentation : standard ou biphase. Elles ont été formulées à 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 ( $OM_{\text{excreted}}$ ) ainsi calculé évolue dans le temps du fait de l'évolution du paramètre Aliment et de la proportion d'animaux en biphase sur la période. Pour les truies, l'évolution est liée à la proportion d'animaux en biphase sur la période.

Pour calculer le SV final à appliquer à ces deux sous-catégories porcines, l'approche mise en place est l'approche production. Cette approche est jugée plus pertinente car les SV sont exprimés par tête, et ces animaux vivant moins d'un an, il est plus réaliste d'utiliser des données de productions que de cheptels. Les données d'abattages bruts sont fournies par la Statistique Agricole Annuelle (SAA) publiée par le SSP [410]. Elles présentent les productions totales pour la métropole et les DOM (correspondant au périmètre UE). Ces données sont ensuite corrigées pour tenir compte des taux de pertes et saisies, publiés chaque année par l'IFIP au sein de ses documents de Gestion Technico-économiques jusqu'en 2016 [505]. Depuis, ces données ne sont plus publiques. Les données pour 2020 ont été fournies directement par l'IFIP au Citepa, permettant d'estimer les années manquantes en interpolant les valeurs entre 2016 et 2020. Ces données ont également été transmises pour 2021 et 2022. Les SV du projet MONDFERENT II sont appliqués à ces données de productions corrigées. Les quantités totales de SV excrétées ainsi calculées sont ensuite utilisées pour

recalculer un SV moyen en rapportant ces quantités aux populations tirées de la SAA [410] et retravaillées par le Citepa (voir section 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<sub>4</sub> 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<sub>fèces</sub>, est obtenue de la façon suivante :

$$SV_{fèces} = MONDI \text{ (kg)} = MSI \times MO / 1000 - MODI$$

*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 (cohérentes sur ce point avec le Giec 2019), et l'hypothèse a été faite que la matière organique des urines est également émettrice de CH<sub>4</sub>. Le SV<sub>urine</sub> est obtenu de la façon suivante :

$$SV_{urine} \text{ (kg)} = MSI \times MO / 1000 \times EU/EB$$

*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 Sauvart et Giger-Reverdin (2009) [794] :

$$EU/EB = 5,7 - 0,71 NI$$

*Avec : NI = niveau d'ingestion*

Les SV<sub>fèces</sub> et SV<sub>urine</sub> sont sommés pour obtenir le SV<sub>total</sub>.

Les SV calculés sont constants dans le temps pour les sous-catégories d'ovins et de caprins.

Pour mettre en cohérence les catégories animales étudiées dans MONDFERENT II avec les catégories animales de la SAA, des pondérations ont été faites à partir des effectifs

différenciés fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 et dans le recensement agricole [1249] pour l'année 2020 :

- Catégorie « agnelles » de la SAA : pondération entre agnelles laitières et allaitantes ;
- Catégorie « autres ovins » de la SAA : pondération entre agneaux et béliers ;
- Catégorie « autres caprins » de la SAA : pondération entre chevreaux et boucs.

Les pondérations sont appliquées de la façon suivante sur la période : utilisation de la pondération 2007 de 1990 à 2007 ; utilisation de la pondération 2020 à partir de l'année 2020 ; interpolation des données pour les années 2008-2019.

Ces facteurs par sous-catégorie sont listés plus bas (tableau « Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV »). Du fait de la variation annuelle des effectifs de ces sous-catégories animales, les SV pour les catégories agrégées « ovins » et « caprins » varient annuellement.

### Autres animaux

Pour les équins, l'équation 10.22A issue du Giec 2019 a été appliquée. Les valeurs suivantes ont été retenues pour les différents paramètres nécessaires au calcul :

Tableau 80 : Paramètres utilisés pour l'estimation des SV des équins

Catégorie SAA	Paramètre	Source	Valeur
Chevaux de selle, sport, loisirs et course	Taux SV ( <i>VS rate</i> )	Giec 2019 - Western Europe	5,65 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	Retraitement des données Idele [983]	479 kg
Chevaux lourds	Taux SV ( <i>VS rate</i> )	Giec 2019 - Western Europe	5,65 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	Retraitement des données Idele [983]	700 kg
Anes, mulets, bardots	Taux SV ( <i>VS rate</i> )	Giec 2019	7,2 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	Retraitement des données William MARTIN-ROSSET [473]	176 kg

Les SV obtenus sont listés plus bas (tableau « Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV »).

Pour les volailles, l'estimation du SV faisait partie des objectifs visés par le projet MONDFERENT II. Lors de ce projet, des équations spécifiques ont été établies pour les volailles, en utilisant la digestibilité de l'énergie en première approche de la digestibilité de la matière organique. Dans les conclusions du projet, il n'est pas conseillé d'utiliser les résultats du projet car il est indiqué que la digestibilité de l'énergie ne reflète pas si bien la digestibilité de la matière organique, et les équations proposées conduiraient à une surestimation des SV. Il est de plus indiqué qu'il faudrait pouvoir recalculer ces excréments carbonés en utilisant la digestibilité réelle de la matière organique, pour améliorer les estimations de ce paramètre.

Ainsi, le choix a été fait ici d'appliquer plutôt l'équation 10.22A issue du Giec 2019. Les poids vifs moyens pour chacune des sous catégories sont issus de différentes sources de données :

- les données d'abattages issues des statistiques Agreste [410] qui fournissent des poids moyens à l'abattage en kg carcasse/tête ;
- les données Itavi de performances techniques [1255] [1256] [1257] qui fournissent des poids de poules de réforme et des poids vif à l'enlèvement ;
- le rapport final Itavi/Ademe pour les poulets de chair [801] qui fournit des poids vifs finaux (kg/animal) pour les poulets export et lourd ;
- les données Corpen 2006 et 2012 [504] utilisées pour estimer l'excrétion azotée en volailles , qui fournissent des poids moyens à l'abattage.

Pour les poules pondeuses, on considère que le poids à la réforme correspond au poids vif moyen sur la durée d'élevage. Pour les autres productions, le poids vif moyen est estimé en divisant le poids à l'enlèvement par deux. FC

Les valeurs données dans le tableau suivant pour les poids présentent la plage de valeurs 1990-2022 :

Tableau 81 : Paramètres utilisés pour l'estimation des SV des volailles

Catégorie SAA	Paramètre	Source	Valeur
Poules pondeuses d'œufs à couvrir	Taux SV (VS rate)	Giec 2019 - Western Europe	8,6 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	<i>Hypothèse d'équivalence avec les poules pondeuses d'œufs de consommation</i>	1,99 kg - 1,75 kg
Poules pondeuses d'œufs de consommation	Taux SV (VS rate)	Giec 2019 - Western Europe	8,6 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	2016 - 2019 : poids des poules de réforme [1255] Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410]	1,99 kg - 1,75 kg
Poulettes	Taux SV (VS rate)	Giec 2019 - Western Europe	5,3 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	1990-2006 : poids moyens à l'abattage de l'année 2006 [504] divisés par deux ; 2012-année en cours : poids moyens à l'abattage de l'année 2012 [504] divisés par deux ; 2007-2011 : interpolation linéaire	0,78 kg - 0,92 kg
Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	Taux SV (VS rate)	Giec 2019 - Western Europe	16,1 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	2016 - 2020 : poids vifs à l'enlèvement [1256] [1257] et poids vifs finaux [801] divisés par deux. Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410]	0,90 kg - 1,07 kg
Canards à gaver	Taux SV (VS rate)	Giec 2019	7,4 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	2019 - 2020 : poids vifs à l'enlèvement [1258] divisés par deux. Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410]	1,99 kg - 1,90 kg
Canards à rôtir	Taux SV (VS rate)	Giec 2019	7,4 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	2016 - 2020 : poids vifs à l'enlèvement [1256] divisés par deux.	1,93 kg - 2,07 kg

Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410]			
Dindes et dindons (au 1er octobre)	Taux SV (VS rate)	Giec 2019	10,3 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	2016 - 2020 : poids vifs à l'enlèvement [1256] divisés par deux. Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410]	4,19 kg - 5,71 kg
Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	Taux SV (VS rate)	Giec 2019 - Total « poultry » - Western Europe	12,3 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	1990-2006 : poids moyens à l'abattage de l'année 2006 [504] divisés par deux ; 2012-année en cours : poids moyens à l'abattage de l'année 2012 [504] divisés par deux ; 2007-2011 : interpolation linéaire	3,51 kg - 3,72 kg
Pintades	Taux SV (VS rate)	Giec 2019 - Total « poultry » - Western Europe	12,3 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	2016 - 2020 : poids vifs à l'enlèvement [1256] divisés par deux. Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410]	0,82 kg - 0,90 kg
Cailles d'élevage	Taux SV (VS rate)	Giec 2019 - Total « poultry » - Western Europe	12,3 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	1990-2006 : poids moyens à l'abattage de l'année 2006 [504] divisés par deux ; 2012-année en cours : poids moyens à l'abattage de l'année 2012 [504] divisés par deux ; 2007-2011 : interpolation linéaire	0,14 kg - 0,13 kg

Les SV ainsi estimés varient dans le temps par sous-catégorie animale, les plages 1990-2021 sont présentées plus bas (tableau « Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV »).

Pour les lapines et les cervidés d'élevage, le paramètre SV prend les valeurs par défaut fournies par le Giec 2019 [1229].

Tableau 82 : Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV

Catégorie animale		SV (kg SV/jour)	Provenance du SV
Vaches laitières		3,46 - 4,29	Mondferent I
Au tre s bo vins	Vaches nourrices	2,86	Mondferent I

	Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	2,64	Mondferent I
	Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	2,18	Mondferent I
	Génisses de boucherie de plus de 2 ans	2,55	Mondferent I
	Mâles de type laitier de plus de 2 ans	2,56	Mondferent I
	Mâles de type viande de plus de 2 ans	2,56	Mondferent I
	Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	1,89	Mondferent I
	Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	1,81	Mondferent I
	Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	2,07	Mondferent I
	Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	2,31	Mondferent I
	Mâles de type viande de 1 à 2 ans	2,73	Mondferent I
	Veaux de boucherie	0,85	Mondferent I
	Autres femelles de moins de 1 an	0,82	Mondferent I
	Autres mâles de moins de 1 an	0,87	Mondferent I
Porcins	Porcelets non sevrés (<8kg)	0,00	Mondferent II
	Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)	0,06 - 0,08	Mondferent II
	Verrats de 50 kg et plus	0,38 - 0,40	Mondferent II
	Porcs à l'engrais (>30kg)	0,21 - 0,25	Mondferent II
	Truies de 50 kg et plus		Mondferent II
Caprins	Chevrettes	0,42	Mondferent II
	Chèvres (femelles ayant mis bas)	1,15	Mondferent II
	Autres caprins (y compris boucs)	0,46 - 0,54	Mondferent II
Ovins	Agnelles	0,39 - 0,40	Mondferent II
	Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	0,63	Mondferent II
	Brebis mères laitières (y c. réforme)	1,04	Mondferent II
	Autres ovins (y compris béliers)	0,22 - 0,24	Mondferent II
Chevaux	Chevaux de selle, sport, loisirs et course	2,71	Giec 2019
	Chevaux lourds	3,96	Giec 2019
Mules et ânes	Anes, mulets, bardots	1,28	Giec 2019
Volailles	Poules pondeuses d'œufs à couvrir	0,017 - 0,015	Giec 2019
	Poules pondeuses d'œufs de consommation	0,017 - 0,015	Giec 2019
	Poulettes	0,004 - 0,005	Giec 2019
	Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	0,014 - 0,017	Giec 2019
	Canards à gaver	0,015 - 0,014	Giec 2019
	Canards à rôtir	0,014 - 0,015	Giec 2019
	Dindes et dindons (au 1er octobre)	0,043 - 0,059	Giec 2019
	Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	0,043 - 0,046	Giec 2019
	Pintades	0,010 - 0,011	Giec 2019
	Cailles d'élevage	0,0017 - 0,0016	Giec 2019
Autres	Lapines reproductrices	0,10	Giec 2019
	Cervidés d'élevage	0,39	Giec 2019

## Le paramètre Bo

Le paramètre Bo prend les valeurs par défaut fournies par le Giec 2019 [1229]. Les valeurs prises par Bo sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 83 : Paramètres Bo utilisés dans l'inventaire

	Vaches laitières	Autres bovins	Porcins et truies	Caprins	Ovins	Chevaux	Mules et ânes	Poules pondeuses	Autres volailles	Lapines	Cervidés d'élevage
Bo	0,24	0,18	0,45	0,18	0,19	0,30	0,33	0,39	0,36	0,32	0,19

Ces valeurs sont utilisées indépendamment du système de gestion des déjections considéré, exception faite de la pâture. En effet, le Giec 2019 fournit une valeur unique de Bo pour les systèmes pâture, identique quel que soit l'animal concerné. Cette valeur est de 0.19.

### Le paramètre FCM

Les paramètres FCM prennent les valeurs par défaut fournies par le Giec [1229], en faisant les correspondances avec les systèmes de gestion des déjections rencontrés en France suivantes :

Tableau 84 : Correspondances FCM et systèmes de gestion

	Lisier sans croûte naturelle	Lisier avec croûte naturelle	Fumier	Litière accumulée	Pâture
Vaches laitières	Liquid/Slurry, and Pit storage below animal confinements - Retention time 6 months	Liquid/Slurry, and Pit storage below animal confinements - Retention time 6 months	Solid storage	Cattle and Swine deep bedding < 1 mois	Pasture / Range / Paddock
Autres bovins				Cattle and Swine deep bedding > 1 mois	
Porcins					
Caprins					
Ovins					
Chevaux					
Mules et ânes					
Poules pondeuses	Poultry manure without litter		Poultry manure with litter		
Autres volailles					
Lapines reproductrices	MCF par défaut pour les lapins (0.01)		MCF par défaut pour les lapins (0.01)		
Cervidés d'élevage					Pasture / Range / Paddock

Source Citepa / format Ominea - février 2023

Graph\_OMINEA\_3.xls/FCM

Pour le lisier avec croûte naturelle, le Giec 2019 considère une réduction de 40 % des émissions en comparaison d'un lisier sans croûte naturelle. Cette réduction est appliquée directement au niveau de la valeur du FCM.

Les valeurs du FCM varient en fonction des climats. Les climats rencontrés en France sont présentés dans la section « 3\_agriculture ». Sont rencontrés :

- quatre climats différents en métropole : « cool temperate moist », « cool temperate dry », « warm temperate moist », « warm temperate dry » ;
- trois climats différents en outre-mer : « cool temperate moist », « tropical wet », « tropical moist ».

Tableau 85 : Valeurs de FCM retenues selon les climats

	cool temperate moist	cool temperate dry	warm temperate moist	warm temperate dry	tropical wet	tropical moist
Lisier sans croûte naturelle - 6 mois de stockage	21 %	26 %	37 %	41 %	76 %	73 %
Lisier avec croûte naturelle - 6 mois de stockage	12.6 %	15.6 %	22.2 %	24.6 %	45.6 %	43.8 %
Stockage solide	2 %	2 %	4 %	4 %	5 %	5 %
Litière accumulée < 1 mois	2.75 %	2.75 %	6.5 %	6.5 %	18 %	18 %
Litière accumulée > 1 mois	21 %	26 %	37 %	41 %	76 %	73 %

Fumier de volailles avec ou sans litière	1.5 %	1.5 %	1.5 %	1.5 %	1.5 %	1.5 %
Pâtûre/parcours	0.47 %	0.47 %	0.47 %	0.47 %	0.47 %	0.47 %
Méthanisation	2.27 %			NA		NA

Les FCM, appliqués au niveau des régions, sont pondérés au prorata des surfaces présentées dans la section « 3\_agriculture ». Ces climats sont considérés stables sur la période d'inventaire (1990-2022).

Prise en compte de la méthanisation des déjections animales :

La méthanisation des déjections animales permet de réduire les émissions de CH<sub>4</sub>. Cette technique de réduction existe en France depuis 1990. La réduction des émissions grâce à la méthanisation est ici calculée pour les cheptels bovins et porcins uniquement, sur la base de la méthodologie Giec 2019 qui fournit désormais un FCM pour les digestats de méthanisation (Vol4, Ch10, Table 10A.11). Le FCM retenu pour les effluents méthanisés est de 2,27 %<sup>20</sup> qui dépend de la qualité du digesteur (taux de fuite), du mode de stockage des digestats et de la zone climatique.

Qualité du digesteur : les digesteurs sont considérés comme de haute qualité avec des taux de fuite inférieurs à 1 % en moyenne ( $L_{dig} < 0,01$ ) ce qui est cohérent avec le taux d'émissions fugitives de 0,5 % fixé au sein de l'ACV Inrae [1295] sur le biométhane qui recense plusieurs références sur le sujet (la littérature recense toutefois des valeurs comprises entre 0,1 % et 5 % du biogaz).

Mode de stockage des digestats : Le mode de stockage des digestats ( $L_{sto,gt}$ ) n'est pas recensé dans les statistiques françaises à notre connaissance. Les prescriptions réglementaires associées aux installations de méthanisation (ICPE 2781) soumises à enregistrement ou autorisation (>30t / j) indiquent que les fosses doivent être couvertes<sup>21</sup>. En absence d'information précise le choix a été fait de retenir la valeur moyenne proposé par le Giec. Un travail d'expertise pourrait permettre d'affiner les choix.

Zone climatique : Nous avons retenu la valeur de la zone climatique « tempérée ».

Volumes d'effluents animaux méthanisés : Comme décrit en section « 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.

Pour estimer la part des animaux concernés par la 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 « 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.

<sup>20</sup> High quality biogas digester, Average storage gastight level, temperate climate zone

<sup>21</sup> Arrêté du 12 août 2010 (NOR : DEVP1020761A) : « Les ouvrages de stockage des digestats solides et liquides sont couverts. Cette disposition ne s'applique pas pour le digestat solide stocké en bout de champ moins de 24 heures avant épandage, ni aux lagunes de stockage de digestat liquide ayant subi un traitement de plus de 80 jours. »

## Emissions de N<sub>2</sub>O

La méthode de niveau 2 des lignes directrices du Giec [1229] estime les trois sources d'émissions de N<sub>2</sub>O de l'élevage :

- les émissions directes au bâtiment et au stockage,
- les émissions indirectes liées à la volatilisation de NH<sub>3</sub> et NO<sub>x</sub> au bâtiment et au stockage,
- les émissions indirectes liées aux pertes d'azote par ruissellement et lessivage au stockage.

### Les émissions directes

Les émissions directes sont calculées selon l'équation 10.25 des lignes directrices du Giec 2019 [1229]. Ces émissions sont basées sur :

- l'excrétion azotée des animaux (voir section 3\_Agriculture) ;
- les modalités de gestion des déjections (voir section 3\_Agriculture) ;
- les facteurs d'émission par défaut des lignes directrices du Giec 2019 [1229].

Le calcul effectué est le suivant :

$$N_2O_{\text{directes}} = \sum_{t,i} N_t \times F_{ex,t,i} \times SG_{t,i} \times FE_{t,i} \times 44/28$$

*Avec : N<sub>t,i</sub> = Nombre de têtes de la catégorie animale t ; F<sub>ex,t,i</sub> = Excrétion azotée annuelle de la catégorie animale t gérée en système i ; SG = Système de gestion des déjections ; FE<sub>t,i</sub> = Facteur d'émission pour le système de gestion i de la catégorie animale t.*

Pour le choix des facteurs d'émission, les correspondances suivantes ont été effectuées avec les systèmes de gestion des déjections « classiques » (hors méthanisation) rencontrés en France :

Tableau 86 : Correspondances facteurs d'émission et systèmes de gestion

	Lisier sans croûte naturelle	Lisier avec croûte naturelle	Fumier	Litière accumulée	Pâturage
Vaches laitières	Liquid/Slurry without natural crust cover 0 kgN-N <sub>2</sub> O/kgNex	Liquid/Slurry with natural crust cover 0,005 kgN-N <sub>2</sub> O/kgNex	Solid storage 0,01 kgN-N <sub>2</sub> O/kgNex	Cattle and swine deep bedding No mixing 0,01 kgN-N <sub>2</sub> O/kgNex	Emissions traitées dans la section 3D_Agricultural soils
Autres bovins					
Porcins					
Caprins					
Ovins					
Chevaux					
Mules et ânes					
Poules pondeuses	Poultry manure without litter 0,001 kgN-N <sub>2</sub> O/kgNex		Poultry manure with litter 0,001 kgN-N <sub>2</sub> O/kgNex		
Autres volailles					
Lapines reproductrices	Liquid/Slurry without natural crust cover 0 kgN-N <sub>2</sub> O/kgNex		Solid storage 0,01 kgN-N <sub>2</sub> O/kgNex		
Cervidés d'élevage					

Source CITEPA / format OMINEA - février 2023

Graph\_OMINEA\_3.xls/N<sub>2</sub>O\_direct

Pour les effluents méthanisés, le Giec 2019 donne un facteur d'émission à 0.0006 kg N-N<sub>2</sub>O/kg N excrété.

Les émissions indirectes liées à la volatilisation

Les émissions indirectes liées à la volatilisation sont calculées selon l'équation 10.28 des lignes directrices du Giec 2019 [1229] :

$$N_2O_{\text{indirectes\_volat}} = N_{\text{volatilisation}} \times FE_4 \times 44/28$$

*Avec* :  $N_{\text{volatilisation}}$  = Quantité d'azote des déjections perdue en raison de la volatilisation du  $NH_3$  et du  $NO_x$  (kgN/an) ;  $FE_4$  = Facteur d'émission du GIEC pour les émissions de  $N_2O$  dues au dépôt atmosphérique d'azote sur les sols et des surfaces aquatiques (kg N- $N_2O$  / (kg N- $NH_3$  + kg N- $NO_x$ )).

La quantité d'azote des déjections perdue en raison de la volatilisation du  $NH_3$  et du  $NO_x$  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  $N-NH_3$  au bâtiment ;  $N-NH_3 \text{ Stockage}$  = Emissions de  $N-NH_3$  au stockage ;  $N-NO_x \text{ Stockage}$  = Emissions de  $N-NO_x$  au stockage.

Ces émissions d'azote sous forme de  $NH_3$  et  $NO_x$  sont calculées conformément à la méthode EMEP/EAA 2019 [1138], détaillée en sections « Emissions de  $NH_3$  » et « Emissions de  $NO_x$  » plus bas. Ces explications sont également reprises dans le rapport UNECE.

Le facteur d'émission utilisé est tiré du Giec [1229] et varie selon le climat :

- En climat humide :  $FE_4 = 0,014 \text{ kg N-}N_2O / (\text{kg N-}NH_3 + \text{kg N-}NO_x)$  ;
- En climat sec :  $FE_4 = 0,005 \text{ kg N-}N_2O / (\text{kg N-}NH_3 + \text{kg N-}NO_x)$ .

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 2019 [1229].

$$N_2O_{\text{indirectes\_lixiv}} = N_{\text{lixiv}} \times FE_5 \times 44/28$$

*Avec* :  $N_{\text{lixiv}}$  = 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  $N_2O$  de l'azote de lixiviation et écoulements (kg N- $N_2O$  / kg N lessivé et écoulé).

La quantité d'azote du fumier lessivée est calculée conformément à la méthode EMEP/EAA 2019 [1138], détaillée en section « Emissions de  $NH_3$  » ainsi que dans le rapport UNECE.

**Attention** : on ne comptabilise pas d'émission indirecte de  $N_2O$  liée au lessivage pour les effluents méthanisés.

Le facteur d'émission utilisé est tiré du Giec [1229] :  $FE_5 = 0,011 \text{ kg N-}N_2O / \text{kg N lessivé et écoulé}$ .

### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

#### **Emissions de $SO_2$**

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

## Emissions de NO<sub>x</sub>

Les émissions de NO<sub>x</sub> (NO exprimé en équivalent NO<sub>2</sub>) 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 87 : 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<sub>x</sub> (NO exprimé en équivalent NO<sub>2</sub>), 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<sub>stock\_liquide</sub> = Quantité d'azote ammoniacal totale stockée par catégorie animale, gérée en système liquide ; TAN<sub>stock\_solide</sub> = 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 NH<sub>3</sub> ». On a :

- FE<sub>stockage\_NO<sub>liquide</sub></sub> = 0,0001 kg N-NO/kg TAN<sub>stock</sub> ;
- FE<sub>stockage\_NO<sub>solide</sub></sub> = 0,01 kg N-NO/kg TAN<sub>stock</sub>.

## Emissions de COVNM

Selon le guide EMEP 2019 [1138], la majorité des COVNM émis par l'élevage serait composée d'iso propanol, de n-propanol, d'acétaldéhyde et d'acides carbonés à chaînes courtes (acide acétique, acide propionique, acide butanoïque).

La méthode suivie correspond à la méthode de niveau 2 du guide EMEP 2019 [1138]. Cette méthode de calcul prévoit 6 postes d'émissions : le silo, l'aire d'alimentation, le bâtiment, le stockage, l'épandage, le pâturage ou le parcours.

On a donc :

$$COVNM_{total} = COVNM_{silo} + COVNM_{alimentation} + COVNM_{bâtiment} + COVNM_{stockage} + COVNM_{épandage} + COVNM_{pâturage}$$

Avec :

- COVNM<sub>alimentation</sub> =
  - Pour les bovins : EB x %bâtiment x (FE<sub>alimentation</sub> x Frac<sub>silage</sub>)
  - Pour les autres animaux : VS x %bâtiment x (FE<sub>alimentation</sub> x Frac<sub>silage</sub>)
- COVNM<sub>silo</sub> = Frac<sub>silage\_store</sub> x COVNM<sub>alimentation</sub>
- COVNM<sub>bâtiment</sub> =
  - Pour les bovins : EB x %bâtiment x FE<sub>bâtiment</sub>
  - Pour les autres animaux : VS x %bâtiment x FE<sub>bâtiment</sub>
- COVNM<sub>stockage</sub> = COVNM<sub>bâtiment</sub> x (NH<sub>3</sub><sub>stockage</sub> / NH<sub>3</sub><sub>bâtiment</sub>)

- $COVNM_{\text{épandage}} = COVNM_{\text{bâtiment}} \times (NH_3_{\text{épandage}} / NH_3_{\text{bâtiment}})$
- $COVNM_{\text{pâture}} =$ 
  - Pour les bovins :  $EB \times (1 - \%bâtiment) \times FE_{\text{pâture}}$
  - Pour les autres animaux :  $VS \times (1 - \%bâtiment) \times FE_{\text{pâture}}$

Le calcul des énergies brutes pour les bovins est présenté en section « 3a\_enteric fermentation ». Le calcul des SV pour les autres animaux est présenté dans la présente section, au niveau du paragraphe sur les émissions de CH<sub>4</sub>.

Les facteurs d'émission utilisés sont ceux proposés par défaut dans le guide EMEP / EEA 2019 [1138].

Le paramètre %bâtiment correspond à la part du temps passé au bâtiment par l'animal. Le calcul de ce paramètre est décrit en section générale « 3\_Agriculture ».

Le paramètre  $Frac_{\text{silage\_store}}$  prend la valeur par défaut proposée dans le guide EMEP / EEA 2019 [1138] représentant les conditions européennes : 0,25.

Le paramètre  $Frac_{\text{silage}}$  correspond à la part d'ensilage dans la ration au bâtiment, sur la proportion maximale d'ensilage possible. En pratique, la proportion maximale d'ensilage dans la matière sèche est d'environ 50 % de l'apport total en matière sèche. Si l'alimentation en ensilage est dominante, ce paramètre doit être égal à 1. Les sources mobilisées pour estimer ce paramètre varient selon la catégorie animale concernée :

- Pour les vaches laitières : deux publications sur la part des différents fourrages composant les rations moyennes types pour les vaches laitières ont été produites par le Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière (CNIEL) : l'une pour 2007 [477], l'autre pour 2018 [1251]. Ces rations sont présentées en section « 3\_agriculture ». En 2007, la part d'ensilage d'herbe et de maïs dans la ration est estimée à 42 %, ce qui correspond à un  $Frac_{\text{silage}}$  de 84 %. En 2018, la part d'ensilage d'herbe et de maïs dans la ration est estimée à 60 %, ce qui correspond à un  $Frac_{\text{silage}}$  de 100 % car l'ensilage est dominant. Le  $Frac_{\text{silage}}$  2007 est utilisé pour la période 1990-2007, celui de 2018 à partir de 2018. Les données sont interpolées entre ces années.
- Pour les autres bovins : ce paramètre est estimé à partir des résultats tirés d'une étude réalisée en 2012 par l'Institut de l'Elevage pour le CIV (Centre d'Information des Viandes) [657]. Dans ces données du CIV, des informations sont fournies concernant la catégorie "herbe conservée", sans connaître la répartition foin/ensilage. Pour avoir cette distinction, la publication de Devun et al [1259] a été utilisée. Sont ensuite sommées les parts d'ensilage d'herbe et de maïs pour obtenir la part totale d'ensilage. Celle-ci est estimée à 32 % en bovins viande, ce qui correspond à un  $Frac_{\text{silage}}$  de 65 %, et à 52 % en bovins lait, ce qui correspond à un  $Frac_{\text{silage}}$  de 100 %. Ces paramètres sont constants dans le temps. La valeur bovins lait est attribuée aux sous-catégories laitières (hors vaches laitières), la valeur bovins viande est attribuée aux sous-catégories nourrices et boucheries. Pour les animaux de moins d'un an, la moyenne bovins lait et viande est considérée. Pour les veaux de boucherie, le  $Frac_{\text{silage}}$  est considéré nul.
- Pour les chèvres : ce paramètre est estimé à partir du document de l'IDELE [983] qui fournit des rations et permet d'estimer l'azote excrété. La part de maïs ensilage considérée est de 14 %, soit un  $Frac_{\text{silage}}$  de 28 %. Cette valeur est maintenue sur la période. Pour les autres caprins, le  $Frac_{\text{silage}}$  est considéré nul.
- Pour les ovins : ce paramètre est estimé à partir du document de l'IDELE sur l'alimentation des ovins [961] qui fournit la part d'ensilage de maïs et d'herbe

conservée pour les systèmes lait et allaitant. Pour connaître la répartition foin/ensilage au sein de la catégorie « herbe conservée », la publication de Devun et al [1259] a été utilisée. Sont ensuite sommées les parts d'ensilage d'herbe et de maïs pour obtenir la part totale d'ensilage. Celle-ci est estimée à 12 % en ovins lait, ce qui correspond à un  $\text{Frac}_{\text{silage}}$  de 24 %, et à 14 % en ovins viande, ce qui correspond à un  $\text{Frac}_{\text{silage}}$  de 28 %. Ces paramètres sont constants dans le temps. La valeur ovins lait est attribuée aux brebis laitières, la valeur ovins viande aux brebis allaitantes, et la valeur moyenne est utilisée pour la catégorie « autres ovins ». Pour les agnelles, les valeurs ovins lait et viande sont pondérées au prorata des effectifs différenciés entre les agnelles laitières et allaitantes fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007.

- Pour les autres animaux : le  $\text{Frac}_{\text{silage}}$  est considéré nul.

Ainsi, les émissions sont dépendantes de la quantité d'énergie brute ingérée pour les bovins, et des SV excrétés pour les autres animaux, au silo, à l'aire d'alimentation, au bâtiment, et au pâturage. Les émissions à l'épandage et au stockage sont supposées corrélées aux émissions de  $\text{NH}_3$  et les mêmes ratios entre émissions au bâtiment et au stockage d'une part et entre émissions au bâtiment et à l'épandage d'autre part sont utilisés pour calculer les émissions de COVNM à ces postes.

Important : les émissions de COVNM liées à l'alimentation, au silo, au bâtiment et au stockage sont rapportées en « 3B\_Manure management » par catégorie animale. Les émissions de COVNM de l'épandage et la pâture sont rapportées en « 3D\_Agricultural soils ».

### **Emissions de CO**

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

### Emissions de $\text{NH}_3$

L'agriculture contribue à la quasi-totalité des émissions d'ammoniac en France, principalement du fait de la gestion des déjections animales (bâtiment, stockage, épandage et pâture) et de la fertilisation minérale.

La méthodologie d'estimation des émissions d'ammoniac de l'élevage est basée sur l'approche Tier 2 développée dans le guide EMEP/EEA 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  $\text{NH}_3$  sont intégrées dans le calcul :

- Lavage d'air dans les bâtiments porcins,
- Couverture de fosse des lisiers,
- Traitement des lisiers porcins par nitrification-dénitrification,
- Epandage avec des matériels peu émissifs et enfouissement rapide des déjections.

Les travaux pour améliorer l'intégration de ces pratiques de réduction d'émission de  $\text{NH}_3$  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

En 2015, une enquête « pratiques d'élevage » a été menée par le service des statistiques du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire [980], s'inscrivant dans la continuité des enquêtes bâtiment menées en 1994, 2001 et 2008. Elle concerne les bovins, les porcins, les caprins, les ovins et les volailles et est disponible à l'échelle des nouvelles régions. Une description plus détaillée de cette enquête est disponible en section « 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 ».

Après discussions avec la profession, il a été considéré que le lavage d'air n'était pas rencontré en bâtiment volailles. Aucune réduction en volailles n'est donc associée à cette pratique.

Dans la SAA, les catégories animales peuvent différer des capacités proposées dans l'enquête pratiques d'élevage. Les retraitements suivants ont été apportés :

- Pour les truies : elles sont toutes regroupées en une catégorie dans la SAA, quel que soit leur stade. Les données tirées des enquêtes pratiques d'élevage doivent alors être pondérées. Cette pondération est précisée en section « 3\_agriculture ».
- Pour les verrats : faute de données disponibles dans les enquêtes, les valeurs recalculées pour les truies leur sont attribuées.

On considère que les pourcentages présentés dans les résultats des enquêtes s'appliquent directement aux effectifs (cheptels) gérés au bâtiment.

Ces pourcentages sont disponibles au niveau national et pour les nouvelles régions les plus productrices, qui sont, en porcins : Bretagne, Pays de la Loire, Hauts-de-France. Pour compléter la couverture géographique des résultats et effectuer les calculs au niveau des anciennes régions, les retraitements suivants ont été apportés (pour plus de détails sur le périmètre géographique, se reporter à la section « 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.

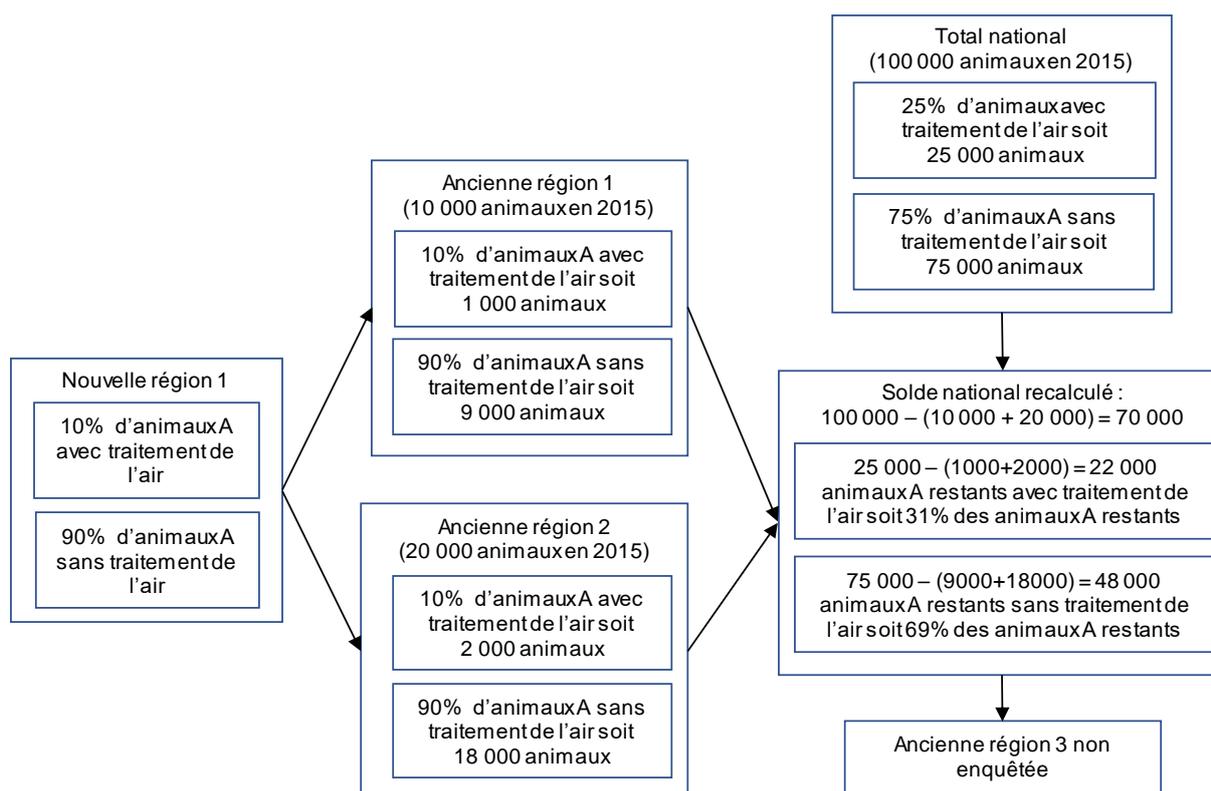


Figure 32 : Illustration fictive du retraitement des données de traitement de l'air en bâtiments porcins effectué pour mettre en cohérence le périmètre géographique des enquêtes pratiques d'élevage

Les résultats des données retravaillées pour les porcins sont les suivants :

Tableau 88 : 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 89 : 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 90 : 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
2013	Données [991]		
2014-2015	Interpolation linéaire 2013 - 2016		
2016	Données [992]		
2017	Données [992]		
2018 - 2022	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 91 : 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		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%		
2018-2022	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 bovins (détail disponible pour certaines catégories et toutes catégories confondues), les porcins (toutes catégories confondues), pour les ovins (élevages de brebis laitières) et pour les caprins (toutes catégories confondues).

Parmi les différents modes de couverture proposés dans les enquêtes, seules les couvertures avec bâche et mât central et celles avec bâche flottante ont été retenues comme pratiques de réduction des émissions de NH<sub>3</sub>.

On considère que les pourcentages de fosses couvertes présentés dans les résultats des enquêtes sont une bonne approximation du pourcentage des quantités de lisier (et en particulier d'azote ammoniacal contenu dans les lisiers) stockées selon les différentes couvertures renseignées. Ainsi, ces pourcentages seront appliqués directement aux quantités d'azote ammoniacal stockées des lisiers pour les catégories concernées. De plus, la distinction par sous-catégories n'étant pas disponible, ces pourcentages sont appliqués à l'ensemble des sous-catégories de l'espèce concernée (bovins, porcins, ovins, caprins).

Ces pourcentages sont disponibles au niveau national et pour les nouvelles régions les plus productrices, qui varient selon les espèces. La distinction régionale a été utilisée en porcs uniquement (détail disponible pour les régions Pays de la Loire et Bretagne).

- Pour les bovins, ovins et caprins : la part des fosses couvertes est estimée directement au niveau national et appliquée à l'ensemble des régions.
- Pour les porcins : la part des fosses couvertes est estimée pour les régions Pays de la Loire et Bretagne, puis le solde national est réparti entre les autres régions au prorata des effectifs gérés en lisier.

De nouvelles données issues du recensement agricole 2020 [1249] ont pu être intégrées. Ce dernier fournit les capacités totales des fosses en 2020 (toutes espèces confondues), ainsi que la capacité totale des fosses avec couverture artificielle souple imperméable (bâche...)

(toutes espèces confondues également). Faute de détails concernant les catégories animales, cette capacité totale 2020 couverte est ensuite répartie au prorata des capacités couvertes 2015. Cela permet malgré tout d'intégrer une évolution sur les années récentes.

Les résultats des données retravaillées sont les suivants :

Tableau 92 : Pourcentages des lisiers stockés en fosse couverte pour les bovins, porcins, caprins et ovins en métropole pour 2015 et 2020

% des lisiers stockés en fosse couverte (bâche et mât central + bâche flottante)	2015	2020
Bovins	1.3 %	10.1 %
Porcins	2.3 %	17.7 %
Caprins	8.5 %	65.3 %
Ovins	4.6 %	35.5 %
Total national	1.6 %	12.6 %

*A noter : la part des fosses couvertes en ovins et caprins paraît très élevée, mais pèse finalement peu dans le total national car ces espèces sont peu gérées en système liquide.*

Faute de données disponibles avant 2015, des hypothèses ont été formulées pour estimer les taux d'application des couvertures de fosse pour le passé :

Tableau 93 : Attribution des taux d'application de la couverture de fosse sur la période

	1990	1991 - 2014	2015	2016-2019	2020 - année en cours
% des lisiers stockés en fosse couverte (bâche et mât central + bâche flottante)	0%	Interpolation linéaire	Données 2015	Interpolation linéaire	Données 2020

#### (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 culturales », conduites pour les années 2011 et 2017 [485], fournies par le service des statistiques du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire. 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 94 : Combinaisons des pratiques tirées des enquêtes Pratiques Culturales 2011 et 2017

Catégorie animale	Type d'effluent	Matériel	Délais
-------------------	-----------------	----------	--------

Bovins	Lisier	Buse et rampe	1 à 5
		Pendillard	1 à 5
		Enfouisseur	1
	Fumier	Indifférencié	1 à 5
		Epandeur fumier	1 à 5
		Indifférencié	1 à 5
Porcins	Lisier	Buse et rampe	1 à 5
		Pendillard	1 à 5
		Enfouisseur	1
	Fumier	Indifférencié	1 à 5
		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
	Fumier	Indifférencié	1 à 5
		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<sub>épandus</sub>) 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 culturales de 2011, jugées plus pertinentes pour estimer les réductions d'émissions. En revanche, les données 2001 concernant les matériels ont bien été utilisées, en y associant des délais d'incorporation après épandage moyen recalculés à partir des données de 2011. 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 95 : 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<sub>2</sub>, NO et N<sub>2</sub>O au bâtiment et au stockage, et les apports d'azote par la paille.

Les émissions totales de NH<sub>3</sub> correspondent à la somme des émissions des différents postes :

$$\text{NH}_3 \text{ Total} = \text{NH}_3 \text{ Bâtiment} + \text{NH}_3 \text{ Stockage} + \text{NH}_3 \text{ Epandage} + \text{NH}_3 \text{ Pâturage}$$

Cependant, les émissions sont rapportées dans des catégories différentes :

- NH<sub>3</sub> Bâtiment : émissions rapportées en 3B\_Manure management ;
- NH<sub>3</sub> Stockage : émissions rapportées en 3B\_Manure management ;
- NH<sub>3</sub> Epandage : émissions rapportées en 3D\_Agricultural soils ;
- NH<sub>3</sub> Pâturage : émissions rapportées en 3D\_Agricultural soils.

Viennent également s'ajouter des émissions de NH<sub>3</sub> 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 96 : 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<sub>3</sub> suivantes : (1) Lavage d'air en bâtiments (porcins) ; (2) traitement des lisiers porcins par nitrification-dénitrification ; (3) couverture de fosse des lisiers (bovins, porcins, ovins, caprins) ; (4) matériel et délais d'épandage permettant la réduction des émissions.*

Figure 33 : Suivi de l'azote en gestion liquide

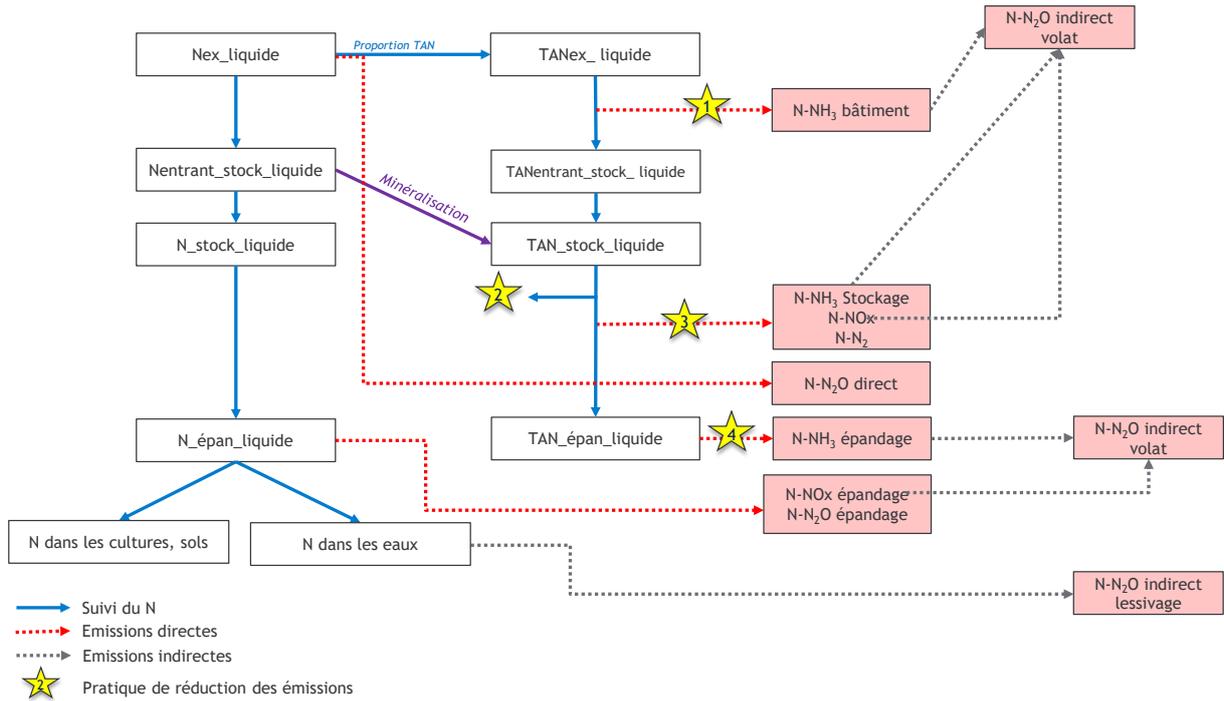
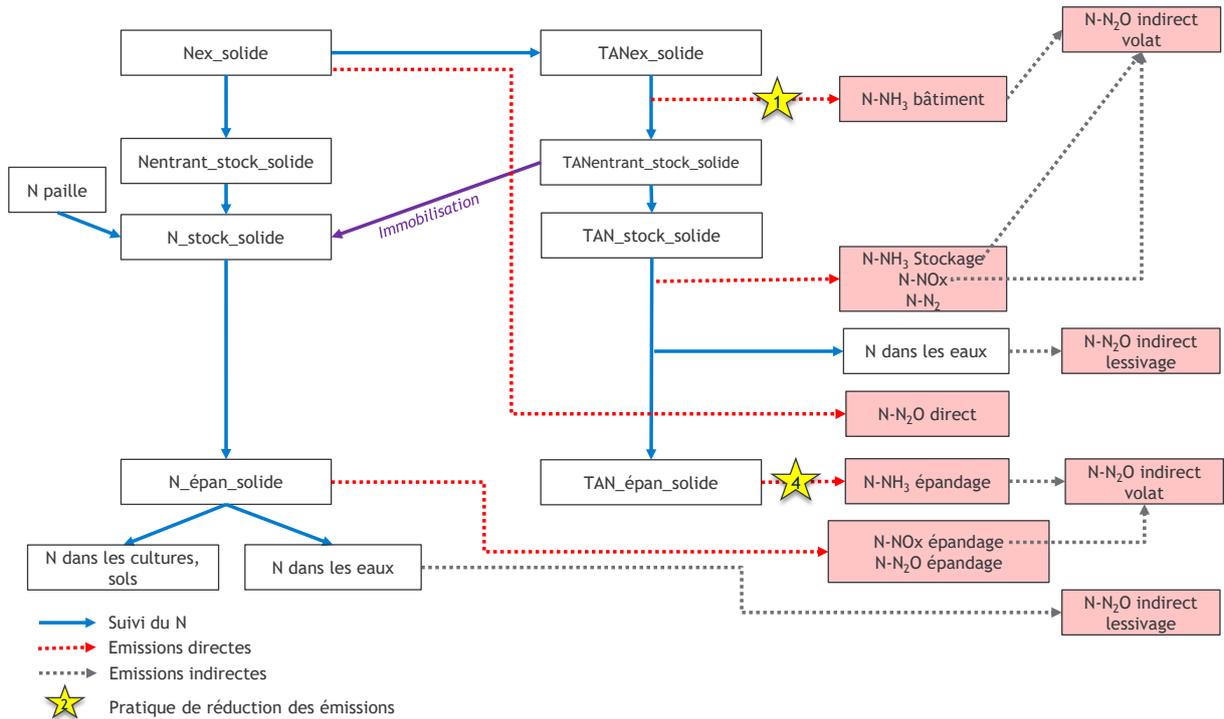


Figure 34 : Suivi de l'azote en gestion solide



Pour les effluents méthanisés, le suivi diffère légèrement. Les schémas ci-dessous résument le suivi de l'azote sur la chaîne bâtiment/méthanisation/épandage, en gestion liquide et en gestion solide.

Figure 35 : Suivi de l'azote en gestion liquide avec méthanisation

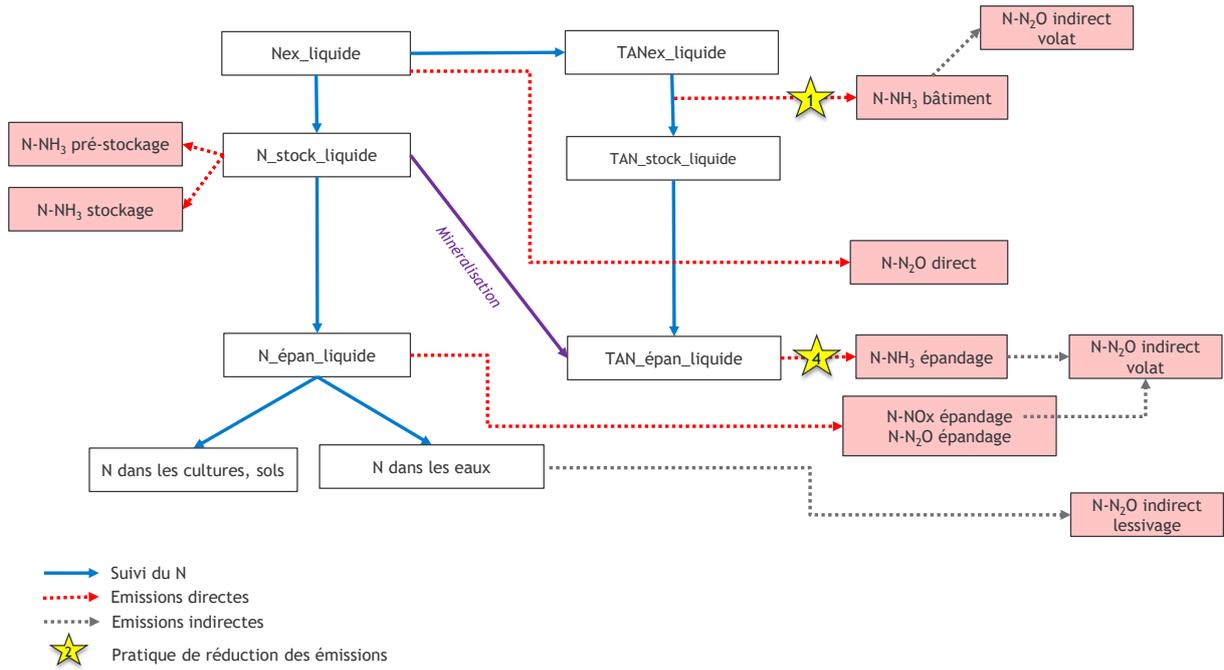
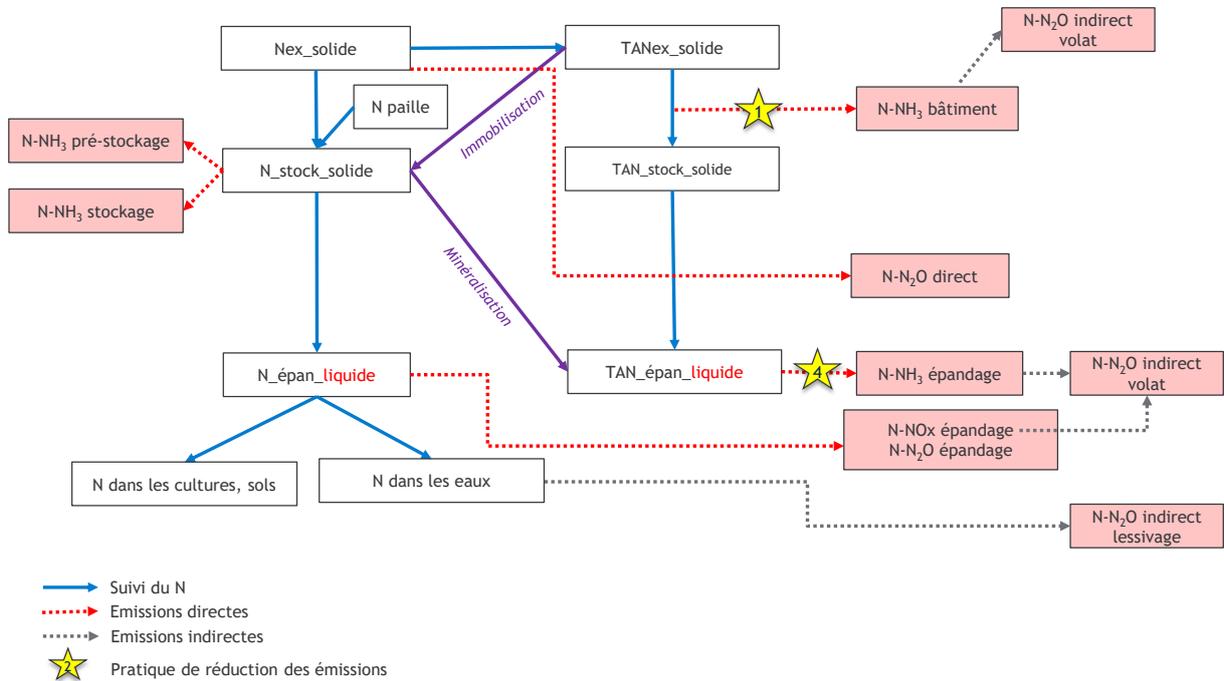


Figure 36: Suivi de l'azote en gestion solide avec méthanisation



### 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 97 : 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) ;  $FE_{\text{Bâtiment}}$  : 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  $\text{Frac}_{Air}$ , 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.

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 l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) [801].

Les facteurs d'émission par catégorie et système de gestion des déjections sont répertoriés dans le tableau suivant.

*A noter : Pour les poules pondeuses et les poulettes, le facteur d'émission recalculé varie dans le temps du fait de la progression des systèmes de gestion des déjections 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 1990-2021.*

Tableau 98 : Facteurs d'émission de N-NH<sub>3</sub> au bâtiment

		FE N-NH <sub>3</sub> Liquide (kg N-NH <sub>3</sub> /TAN <sub>ex</sub> )	FE N-NH <sub>3</sub> Solide (kg N-NH <sub>3</sub> /TAN <sub>ex</sub> )
	Vaches laitières	0,24	0,08
	Autres bovins	0,24	0,08
Porcins	Porcelets non sevrés (<8kg)	0,27	0,23
	Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)	0,27	0,23
	Verrats de 50 kg et plus	0,35	0,24
	Porcs à l'engrais (>30kg)	0,27	0,23
	Truies de 50 kg et plus	0,35	0,24
	Caprins	0,22	0,22
	Ovins	0,22	0,22
	Chevaux	-	0,22
	Mules et ânes	-	0,22
Volailles	Poules pondeuses d'œufs à couvrir	-	0,20 - 0,16
	Poules pondeuses d'œufs de consommation	-	0,20 - 0,16
	Poulettes	-	0,20 - 0,16
	Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	-	0,14 - 0,15
	Canards à gaver	0,24	0,24
	Canards à rôtir	0,24	0,24
	Dindes et dindons (au 1er octobre)		0,19
	Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	0,57	0,57
	Pintades		0,19
	Cailles d'élevage		0,19
Autres	Lapines reproductrices	0,27	0,27
	Cervidés d'élevage*	-	-

\* gestion uniquement à la pâture

Les émissions de NH<sub>3</sub> 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 :

$$TAN_{entrant\_stock\_i} = TAN_{ex\_i} - N-NH_3 \text{ Bâtiment}_i$$

$$N_{entrant\_stock\_i} = N_{ex\_i} - N-NH_3 \text{ Bâtiment}_i$$

*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 :

$$\text{Liquide : } TAN_{stock\_i} = TAN_{entrant\_stock\_i} + (N_{entrant\_stock\_i} - TAN_{entrant\_stock\_i}) \times F_{min} \text{ (équation a)}$$

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 :

$$\text{Liquide : } TAN_{stock\_i} = [ TAN_{entrant\_stock\_i} + (N_{entrant\_stock\_i} - TAN_{entrant\_stock\_i}) \times F_{min} ] - N_{resorb} \times Frac_{reg,animal} \text{ (équation b)}$$

Avec :  $N_{resorb}$  = Quantité d'azote résorbée au niveau national, toutes catégories porcines confondues (kgTAN/an) ;  $Frac_{reg,animal}$  : part de l'azote ammoniacal de l'animal concerné, pour la région concernée, par rapport à l'azote ammoniacal national total toutes catégories porcines confondues.

Pour les systèmes solides, la présence de paille favorise l'assimilation de l'azote par les micro-organismes de la litière. Ce transfert est traduit par l'équation suivante :

$$\text{Solide : } TAN_{stock\_i} = TAN_{entrant\_stock\_i} - Paille \times F_{imm}$$

$$N_{\text{stock}_i} = N_{\text{entrant\_stock}_i} + \text{Paille} \times T_{\text{MS}} \times T_{\text{N}}$$

*Avec* : Paille = quantité de paille apportée (tonnes de matière fraîche) ;  $F_{\text{imm}}$  = Facteur d'immobilisation par défaut proposé par EMEP 2019 (= 0,0067 kg/ kg de matière fraîche) ;  $T_{\text{MS}}$  = taux de matière sèche contenue dans la paille (kg matière sèche/kg matière fraîche) ;  $T_{\text{N}}$  = 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  $\text{NH}_3$  au stockage est calculé selon l'équation suivante :

$$N\text{-NH}_3 \text{ Stockage} = \sum_i [ \text{Frac}_{\text{Couv}_i} \times \text{TAN}_{\text{stock}_i} \times \text{FE}_{i \text{ Stock}} \times \text{FA}_{\text{Couv}} + (1 - \text{Frac}_{\text{Couv}_i}) \times \text{TAN}_{\text{stock}_i} \times \text{FE}_{i \text{ Stock}} ]$$

*Avec* :  $\text{Frac}_{\text{Couv}_i}$  : part des liquides stockés dans des fosses couvertes (ratio) ;  $\text{FE}_{\text{Stock}}$  : Facteur d'émission de  $\text{NH}_3$  au stockage (kg  $\text{N-NH}_3$ /kg TAN),  $\text{FA}_{\text{Couv}}$  : facteur d'ajustement associé à la couverture de fosse (ratio).

L'estimation du paramètre  $\text{Frac}_{\text{Couv}}$ , 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 bovins, les porcins, les ovins et les caprins.

La valeur du paramètre  $\text{FA}_{\text{Couv}}$ , 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  $\text{NH}_3$  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  $\text{NH}_3$  au stockage prennent les valeurs proposées par EMEP 2019.

Tableau 99 : Facteurs d'émission de  $\text{N-NH}_3$  au stockage

	FE $\text{N-NH}_3$ Liquide (kg $\text{N-NH}_3$ /TAN <sub>stock</sub> )	FE $\text{N-NH}_3$ Solide (kg $\text{N-NH}_3$ /TAN <sub>stock</sub> )
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	0,24
	Canards à rôtir	0,24	0,24
	Dindes et dindons (au 1er octobre)	-	0,24
	Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	0,16	0,16
	Pintades	-	0,24
	Cailles d'élevage	-	0,24
Autres	Lapines reproductrices	0,09	0,09
	Cervidés d'élevage*	-	-

\* gestion uniquement à la pâture

Les émissions de NH<sub>3</sub> au stockage sont obtenues de la façon suivante :

$$\text{NH}_3 \text{ Stockage} = \text{N-NH}_3 \text{ Stockage} \times 17/14$$

D'autres émissions de composés azotés (N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) ont lieu durant le stockage, émissions qu'il est important de comptabiliser ici pour le suivi de l'azote.

Les émissions de N<sub>2</sub>O directes sont estimées conformément au Giec 2019. La méthodologie est détaillée plus haut, dans la section « Emissions de N<sub>2</sub>O ».

Les émissions de N<sub>2</sub> sont estimées conformément à la méthodologie EMEP 2019, à partir de l'équation suivante :

$$\text{N-N}_2 = \text{TAN}_{\text{stock}_i} \times \text{FE}_{\text{N}_2}$$

Avec : FE<sub>N<sub>2</sub></sub>: Facteur d'émission de N<sub>2</sub> au stockage (kg N-N<sub>2</sub>/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<sub>stockage\_N<sub>2</sub>liquide</sub> = 0,003 kg N-N<sub>2</sub>/kg TAN<sub>stock</sub> ;
- FE<sub>stockage\_N<sub>2</sub>solide</sub> = 0,3 kg N-N<sub>2</sub>/kg TAN<sub>stock</sub>.

Les émissions de NO<sub>x</sub> 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<sub>x</sub> ».

$$\text{N-NO}_x = \text{TAN}_{\text{stock}_i} \times \text{FE}_{\text{NO}}$$

Enfin, il faut également estimer les quantités d'azote lixivié et écoulé au cours du stockage. Pour rappel, c'est à partir de ces quantités d'azote lessivé et écoulé que sont calculées les émissions indirectes de N<sub>2</sub>O 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 :

$$\text{N}_{\text{lessivé}} = \text{TAN}_{\text{stock}_i} \times \text{Part}_N_{\text{lixiv}}$$

Avec : Part<sub>N\_lixiv</sub> = 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 :

$$\text{Liquide : TAN}_{\text{stock\_liquide}} = \text{TAN}_{\text{ex\_liquide}} - \text{N-NH}_3 \text{ Bâtiment\_liquide}$$

$$\text{N}_{\text{stock\_liquide}} = \text{N}_{\text{ex\_liquide}} - \text{N-NH}_3 \text{ Bâtiment\_liquide}$$

$$\text{Solide : TAN}_{\text{stock\_solide}} = \text{TAN}_{\text{ex\_solide}} - \text{N-NH}_3 \text{ Bâtiment\_solide} - \text{Paille} \times F_{\text{imm}}$$

$$\text{N}_{\text{stock\_solide}} = \text{N}_{\text{ex\_solide}} - \text{N-NH}_3 \text{ Bâtiment\_solide} + \text{Paille} \times T_{\text{MS}} \times T_{\text{N}}$$

*Avec : Paille = quantité de paille apportée (tonnes de matière fraîche) ;  $F_{\text{imm}}$  = Facteur d'immobilisation par défaut proposé par EMEP 2019 (= 0,0067 kg/ kg de matière fraîche) ;  $T_{\text{MS}}$  = taux de matière sèche contenue dans la paille (kg matière sèche/kg matière fraîche) ;  $T_{\text{N}}$  = 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  $\text{N}_{\text{stock\_solide}}$  et du  $\text{N}_{\text{stock\_liquide}}$  :

$$\text{N-NH}_3 \text{ Pré-stockage} = \sum_i \text{N}_{\text{stock\_i}} \times \text{FE}_{\text{Pré-stockage}}$$

*L'indice i distingue la gestion solide de la gestion liquide.*

*Avec :  $\text{FE}_{\text{Pré-stockage}}$  : Facteur d'émission de N-NH<sub>3</sub> au pré-stockage = 0,0009 kg N-NH<sub>3</sub>/kg N (EMEP 2019).*

$$\text{N-NH}_3 \text{ Stockage} = \sum_i \text{N}_{\text{stock\_i}} \times \text{FE}_{\text{Stockage}}$$

*L'indice i distingue la gestion solide de la gestion liquide.*

*Avec :  $\text{FE}_{\text{Stockage}}$  : Facteur d'émission de N-NH<sub>3</sub> au pré-stockage = 0,0266 kg N-NH<sub>3</sub>/kg N (EMEP 2019).*

**Important :** ces émissions sont converties en NH<sub>3</sub> 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 :

$$\text{TAN}_{\text{épan\_liquide\_métha}} = \sum_i [ \text{TAN}_{\text{stock\_i}} - (\text{N-NH}_3 \text{ Pré-stockage}_i + \text{N-NH}_3 \text{ Stockage}_i) + (\text{N}_{\text{stock\_i}} - \text{TAN}_{\text{stock\_i}}) \times F_{\text{min}} ]$$

*Avec :  $F_{\text{min}}$  = Facteur de minéralisation par défaut proposé par EMEP 2019 (=0,32).*

Il est également nécessaire d'estimer l'azote total disponible pour l'épandage :

$$\text{N}_{\text{épan\_liquide\_métha}} = \sum_i [ \text{N}_{\text{stock\_i}} - (\text{N-NH}_3 \text{ Pré-stockage}_i + \text{N-NH}_3 \text{ Stockage}_i) ]$$

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 :

$$N-NH_3_{\text{Epannage}} = \sum_i \text{Frac}_{\text{Epa}_i,k} \times TAN_{\text{épan}_i,k} \times FE_{\text{Epan},i} \times FA_{i,k}$$

*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 100 : 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 NH<sub>3</sub> à l'épandage prennent les valeurs proposées par EMEP 2019.

Tableau 101 : Facteurs d'émission de N-NH<sub>3</sub> à l'épandage

		FE N-NH <sub>3</sub> Liquide (kg N-NH <sub>3</sub> /TAN <sub>épan</sub> )	FE N-NH <sub>3</sub> Solide (kg N-NH <sub>3</sub> /TAN <sub>épan</sub> )
Porcins	Vaches laitières	0,55	0,68
	Autres bovins	0,55	0,68
	Porcelets non sevrés (<8kg)	0,40	0,45
	Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)	0,40	0,45
	Verrats de 50 kg et plus	0,29	0,45
	Porcs à l'engrais (>30kg)	0,40	0,45
	Truies de 50 kg et plus	0,29	0,45
	Caprins	0,90	0,90
	Ovins	0,90	0,90
	Chevaux	-	0,90
Mules et ânes		-	0,90
Volailles	Poules pondeuses d'œufs à couvrir	-	0,45
	Poules pondeuses d'œufs de consommation	-	0,45
	Poulettes	-	0,45
	Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	-	0,38
	Canards à gaver	0,54	0,54
	Canards à rôtir	0,54	0,54
	Dindes et dindons (au 1er octobre)	-	0,54
	Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	0,45	0,45
	Pintades	-	0,54
	Cailles d'élevage	-	0,54
Autres	Lapines reproductrices	0,69	0,69

Cervidés d'élevage\*

\* gestion uniquement à la pâture

Les émissions de NH<sub>3</sub> à l'épandage sont obtenues de la façon suivante :

$$NH_3 \text{ Epandage} = N-NH_3 \text{ Epandage} \times 17/14$$

**Important** : ces émissions de NH<sub>3</sub> 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 :

$$N_{ex\_p\grave{a}ture} = Population_{totale} \times SG_{p\grave{a}ture} \times F_{ex}$$

**Avec** :  $N_{ex\_p\grave{a}ture}$  = Quantité d'azote totale excrétée par une catégorie à la pâture (kgN) ;  $Population_{totale}$  = Cheptel de la catégorie concernée (tête) ;  $SG_{p\grave{a}ture}$  = 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 ( $N_{ex\_p\grave{a}ture}$ ) sont utilisées pour le calcul des émissions de N<sub>2</sub>O prises en compte dans la section « 3D\_Agricultural soils ».

L'azote excrété est ensuite converti en azote ammoniacal (TAN) :

$$TAN_{ex\_i} = N_{ex\_i} \times TAN$$

**Avec** : TAN : Proportion d'azote ammoniacal

Les émissions de NH<sub>3</sub> des animaux à la pâture sont estimées de la façon suivante

$$N-NH_3 \text{ P\grave{a}ture} = TAN_{ex\_p\grave{a}ture} \times FE_{P\grave{a}ture}$$

**Avec** :  $TAN_{ex\_p\grave{a}ture}$  = quantités d'azote ammoniacal excrété à la pâture ;  $FE_{P\grave{a}ture}$  = Facteur d'émission de NH<sub>3</sub> à la pâture/parcours (kg N-NH<sub>3</sub>/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 102 : Facteurs d'émission de N-NH<sub>3</sub> à la pâture

	FE N-NH <sub>3</sub> Pâture (kg N-NH <sub>3</sub> /TAN <sub>ex_pâture</sub> )
Vaches laitières	0,14
Autres bovins	0,14
Porcins et truies	0,31
Caprins	0,09
Ovins	0,09
Chevaux	0,35
Mules et ânes	0,35
Volailles	0,018
Lapines reproductrices	0,018

Les émissions de NH<sub>3</sub> à la pâture sont obtenues de la façon suivante :

$$\text{NH}_3 \text{ P\^a}t\text{ure} = \text{N-NH}_3 \text{ P\^a}t\text{ure} \times 17/14$$

**Important** : ces émissions de NH<sub>3</sub> à la pâture ne sont pas comptabilisées en « 3B\_Manure management » mais en « 3D\_Agricultural soils ».

Emissions de particules (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>)

Le calcul des émissions de particules est fondé sur la méthodologie EMEP, qui distingue deux types d'effluents : liquide et solide. Ci-dessous pour rappel la correspondance avec les systèmes de gestion décrits en section « 3\_Agriculture » :

Tableau 103 : 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 calculs pour les émissions de PM<sub>10</sub> et de PM<sub>2,5</sub> primaires sont basés sur l'équation d'EMEP/EEA 2019 [1138] suivante, adaptée pour prendre en compte le traitement de l'air (pour plus de détails, se référer à la section « Emissions de NH<sub>3</sub> ») :

$$E_{PM} = PMA_{\text{animal}} \times \%_{\text{b\^a}t\text{iment}} \times [ \text{Frac}_{\text{Air}} \times (\%_{\text{liquide}} \times EF_{\text{liquide}} + \%_{\text{solide}} \times EF_{\text{solide}}) \times FA_{\text{Air}} + (1 - \text{Frac}_{\text{Air}}) \times (\%_{\text{liquide}} \times EF_{\text{liquide}} + \%_{\text{solide}} \times EF_{\text{solide}}) ]$$

*Avec* :  $E_{PM}$  = Emissions de PM<sub>10</sub> ou PM<sub>2,5</sub> pour une catégorie animale donnée ;  $PMA_{\text{animal}}$  = Population Moyenne Annuelle pour une catégorie animale donnée ;  $\%_{\text{b\^a}t\text{iment}}$  = Pourcentage du temps annuel en bâtiment ;  $\text{Frac}_{\text{Air}}$  : part des animaux gérés dans un bâtiment avec traitement de l'air (ratio) ;  $\%_{\text{liquide}}$  = Pourcentage des effluents gérés dans des systèmes liquide ;  $\%_{\text{solide}}$  = Pourcentage des effluents gérés dans des systèmes solide ;  $EF_{\text{liquide}}$  = Facteur d'émission pour les systèmes liquide ;  $EF_{\text{solide}}$  = Facteur d'émission pour les systèmes solide ;  $FA_{\text{Air}}$  : facteur d'ajustement associé au lavage d'air (ratio).

L'estimation du paramètre  $\text{Frac}_{\text{Air}}$ , 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.

La valeur du paramètre  $FA_{\text{Air}}$ , représentant le facteur d'ajustement du facteur d'émission particules associé au lavage d'air, est tirée du document d'orientation de l'UNECE [809]. La réduction d'émission de particules associée au lavage d'air est estimée à 70%, ce qui signifie un facteur d'ajustement du facteur d'émission égal à 30%. (NB : *facteur d'ajustement* = 1 - *facteur de réduction*)

D'après le guide EMEP/EEA 2019 [1138], il n'existe que peu de données d'émission de particules pour les animaux au pâturage/parcours, voilà pourquoi seuls des facteurs d'émission au bâtiment sont proposés. Depuis la version EMEP 2016, le tableau des facteurs d'émission Tier 2 a disparu car les FE proposés paraissaient élevés comparés à d'autres résultats, donc jugés non représentatifs. Le choix a été fait de conserver pour l'instant la méthode EMEP 2013 pour les catégories auxquelles on appliquait le Tier 2 (bovins et porcins),

en attendant d'obtenir de nouvelles données. En revanche, les facteurs d'émission d'EMEP 2019 Tier 1 (tableau 3.5) [1138] sont appliqués pour les caprins, ovins, chevaux, mules et ânes, lapines reproductrices et pour la majorité des volailles, à l'exception :

- Des poules pondeuses : un facteur d'émission moyen est recalculé à partir des valeurs proposées par EMEP 2013 Tier 2 pour les cages et les perchoirs, EMEP 2019 ne proposant pas cette distinction. La pondération entre ces FE est faite à partir des effectifs en cage qui sont connus et fournis par l'Itavi, le reste étant assimilé à du perchoir. Le facteur moyen recalculé varie annuellement selon l'évolution des modes de gestion.
- Des cailles : les modes d'élevage de ces animaux sont similaires à ceux des poulets de chair, mais une correction est apportée pour tenir compte des différences de densité rencontrées entre les bâtiments de ces deux espèces.
- Des pintades : les modes d'élevage sont similaires à ceux des dindes mais une correction est apportée pour tenir compte des différences de densité rencontrées entre les bâtiments de ces deux espèces.

Tableau 104 : Facteurs d'émission PM utilisés

	FE TSP		FE PM <sub>10</sub>		FE PM <sub>2,5</sub>		
	Liquide	Solide	Liquide	Solide	Liquide	Solide	
Vaches laitières	1,81	0,94	0,83	0,43	0,54	0,28	
Autres bovins	0,69	0,52	0,32	0,24	0,21	0,16	
Porcins	Porcelets non sevrés (<8kg)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)	0,36	0,00	0,16	0,00	0,03	
	Verrats de 50 kg et plus	1,36	1,77	0,61	0,80	0,11	
	Porcs à l'engrais (>30kg)	0,70	0,83	0,31	0,37	0,06	
	Truies de 50 kg et plus	1,36	1,77	0,61	0,80	0,11	
	Caprins	0,14	0,14	0,06	0,06	0,02	
Ovins	0,14	0,14	0,06	0,06	0,02		
Chevaux	-	0,48	-	0,22	-		
Mules et ânes	-	0,34	-	0,16	-		
Poules pondeuses d'œufs à couvrir							
Poules pondeuses d'œufs de consommation	-	0,029-0,093	-	0,029-0,093	-	0,004-0,018	
Volailles	Poulettes						
	Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	-	0,040	-	0,020	-	0,002
	Canards à gaver	0,14	0,14	0,14	0,14	0,02	0,02
	Canards à rôtir	0,14	0,14	0,14	0,14	0,02	0,02
	Dindes et dindons (au 1er octobre)	-	0,11	-	0,11	-	0,02
	Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	0,24	0,24	0,24	0,24	0,03	0,03
	Pintades	-	0,06	-	0,06	-	0,01
	Cailles d'élevage	-	0,009	-	0,005	-	0,0005
Autres	Lapines reproductrices	0,018	0,018	0,008	0,008	0,004	0,004
	Cervidés d'élevage	-	-	-	-	-	-

\* gestion uniquement à la pâture

### Métaux lourds (ML)

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

Polluants organiques persistants POP)

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

### 3B Gestion des déjections animales - Comparaison des résultats avec la méthode tier 2 du GIEC (pour annexe 3 du NIR)

Comparaison des SV

Afin d'éprouver les méthodes MONDFERENT I et II, et conformément aux recommandations des revues précédentes, une comparaison avec la méthode de niveau 2 du Giec 2019 a été réalisée pour le paramètre VS pour les bovins, ovins et caprins.

L'équation proposée par le Giec 2019 pour estimer les SV est la suivante :

$$SV = [ EB \times (1 - dE\% / 100) + (EU \times EB) ] \times [ (1 - CENDRE) / 18,45 ]$$

*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 105 : Comparaison des VS - MONDFERENT I et II / Giec 2019

		VS MONDFERENT		Estimation à partir du GIEC 2019		Variation MONDFERENT/GIEC 2019 constatée (%)	
		1990	2022	1990	2022	1990	2022
		3,5	4,3	4,8	5,9	-28%	-27%
Vaches laitières		3,5	4,3	4,8	5,9	-28%	-27%
Autres bovins	Vaches nourrices	2,9	2,9	3,1	3,1	-9%	-9%
	Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	2,6	2,6	2,4	2,4	10%	10%
	Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	2,2	2,2	2,3	2,3	-4%	-4%
	Génisses de boucherie de plus de 2 ans	2,6	2,6	2,0	2,0	29%	29%
	Mâles de type laitier de plus de 2 ans	2,6	2,6	2,9	2,9	-11%	-11%
	Mâles de type viande de plus de 2 ans	2,6	2,6	2,6	2,6	-3%	-3%
	Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	1,9	1,9	2,7	2,7	-29%	-29%
	Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	1,8	1,8	2,3	2,3	-21%	-21%
	Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	2,1	2,1	2,5	2,5	-17%	-17%
	Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	2,3	2,3	2,8	2,8	-18%	-18%
	Mâles de type viande de 1 à 2 ans	2,7	2,7	2,7	2,7	0%	0%
	Veaux de boucherie	0,8	0,8	1,4	1,4	-40%	-40%
	Autres femelles de moins de 1 an	0,8	0,8	1,9	1,9	-56%	-56%
	Autres mâles de moins de 1 an	0,9	0,9	1,8	1,8	-50%	-50%
Caprins	Chevrettes	0,4	0,4	0,4	0,4	-1%	-1%
	Chèvres (femelles ayant mis bas)	1,1	1,1	0,7	0,7	63%	63%
	Autres caprins (y compris boucs)	0,5	0,5	0,2	0,3	102%	111%
Ovins	Agnelles	0,4	0,4	0,3	0,3	15%	18%
	Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	0,6	0,6	0,3	0,3	92%	92%
	Brebis mères laitières (y c. réforme)	1,0	1,0	0,6	0,6	72%	72%
	Autres ovins (y compris béliers)	0,2	0,2	0,1	0,1	72%	76%

Les variations constatées sont encore à l'étude. De manière générale, les valeurs développées dans le cadre des projets MONDFERENT I et II ont été privilégiées car jugées plus représentatives de la situation française que celles recalculées à partir de la méthode du Giec 2019 qui représente plus une moyenne des pays développés.

Comparaison des Fex

Afin d'éprouver les méthodes MONDFERENT I et II, et conformément aux recommandations des revues précédentes, une comparaison avec la méthode de niveau 2 du Giec 2019 a été réalisée pour le paramètre F<sub>ex</sub> pour les bovins, ovins et caprins.

L'équation proposée par le Giec 2019 pour estimer les F<sub>ex</sub> est la suivante (noté N<sub>ex</sub> dans le Giec) :

$$N_{ex} = N_{consommation} \times (1 - N_{rétention})$$

*Avec : N<sub>consommation</sub> = consommation annuelle de N par tête (kgN/animal/an) ; N<sub>rétention</sub> = fraction de consommation annuelle de N qui est retenue par l'animal.*

Pour les bovins, une équation spécifique est fournie par le Giec 2019 (équation 10.33) :

$$N_{retenu} \text{ (kg N/animal/jour)} = N_{consommation} / 365 \times N_{rétention}$$

$$= [ \text{Lait} \times (\text{Lait PR\%} / 100) / 6,38 ] + [ \text{PP} \times (268 - (7,03 \times \text{EN}_{Cce} / \text{PP})) / (1000/6,25) ]$$

*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<sub>Cce</sub> : énergie nécessaire à la croissance (MJ/jour).*

Pour les vaches laitières : la production de lait est tirée des statistiques de la SAA [410] et la teneur en matière grasse du lait des données du contrôle laitier [1052]. On fait l'hypothèse que les vaches laitières ne prennent pas de poids : le deuxième paramètre de l'équation est nul.

Pour les autres bovins, hors vaches nourrices : la prise de poids est estimée à partir de la différence des poids finaux et initiaux fournis dans le projet MONDFERENT I, divisée par 365. L'énergie pour la croissance a été estimée selon l'équation 10.6 du Giec 2019.

Pour les autres animaux, des valeurs N<sub>rétention</sub> par catégorie sont fournies par défaut par le Giec 2019 (Tableau 10.20).

Le paramètre N<sub>consommation</sub> est quant à lui estimé à partir de l'équation proposée par le Giec 2019 :

$$N_{consommation} = EB / 18,45 \times (PB\% / 100 / 6,25)$$

*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\_Enterique Fermentation » ont été utilisées.

Le tableau ci-dessous récapitule par sous-catégorie les variations constatées entre les deux méthodes :

Tableau 106 : Comparaison des F<sub>ex</sub> - MONDFERENT I et II / Giec 2019

Catégorie animale		F <sub>ex</sub> nationaux		Estimation à partir du GIEC 2019		Variation national/GIEC 2019 constatée (%)	
		1990	2022	1990	2022	1990	2022
Vaches laitières		104,2	116,1	116,2	133,8	-10%	-13%
Autres bovins	Vaches nourrices	107,3	108,0	75,0	75,2	43%	44%
	Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	69,6	69,1	69,6	69,5	0%	-1%
	Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	67,0	66,9	57,2	57,2	17%	17%
	Génisses de boucherie de plus de 2 ans	50,1	49,6	50,1	50,0	0%	-1%
	Mâles de type laitier de plus de 2 ans	79,1	78,6	82,8	82,7	-4%	-5%
	Mâles de type viande de plus de 2 ans	77,8	77,7	66,2	66,2	17%	17%
	Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	53,5	53,2	74,1	74,0	-28%	-28%
	Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	51,1	51,1	55,7	55,7	-8%	-8%
	Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	40,7	40,5	59,0	59,0	-31%	-31%
	Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	57,8	57,6	77,8	77,7	-26%	-26%
	Mâles de type viande de 1 à 2 ans	56,4	56,1	64,6	64,5	-13%	-13%
	Veaux de boucherie	12,6	12,6	53,0	53,2	-76%	-76%
	Autres femelles de moins de 1 an	26,5	26,8	45,5	45,6	-42%	-41%
	Autres mâles de moins de 1 an	27,6	27,6	39,5	39,6	-30%	-30%
Caprins	Chevrettes	7,6	7,6	8,5	8,5	-10%	-10%
	Chèvres (femelles ayant mis bas)	17,2	17,2	16,2	16,2	6%	6%
	Autres caprins (y compris boucs)	9,1	10,7	7,6	8,5	20%	26%
Ovins	Agnelles	7,9	7,9	7,3	7,3	8%	9%
	Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	12,8	12,8	8,2	8,2	55%	55%
	Brebis mères laitières (y c. réforme)	17,1	17,1	13,8	13,8	24%	24%
	Autres ovins (y compris béliers)	3,9	5,3	3,6	3,8	10%	39%

Les variations constatées sont encore à l'étude. De manière générale, les valeurs nationales ont été privilégiées car jugées plus représentatives de la situation française que celles recalculées à partir de la méthode du Giec 2019 qui représente plus une moyenne des pays développés.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
14/02/2024	AnD	16/02/2024	EM

## RIZIERES

Les conditions anaérobies liées à l'inondation partielle ou continue des rizières donnent lieu à des émissions de méthane importantes qui dépendent principalement de ces conditions d'inondation, et des apports organiques.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	3C
CEE-NU / NFR	Hors champ
SNAPc (extension CITEPA)	10.01.01 à 10.01.06, 10.02.01 à 10.02.06, 10.06.01
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Surfaces de rizières	Facteur d'émission du GIEC

### Niveau de méthode :

Rang 1

### Références utilisées :

[663] La culture du riz en Camargue <http://www.rizdecamargue.com/section/culture/une-r%C3%A9gion-un-m%C3%A9tier>

[964] Riziculture - La paille de riz Camarguaise - Pratiques au champ et filières de valorisation pour un développement durable. Inra, Cemagref, 2009.

[1229] 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use.

### Caractéristiques de la catégorie (uniquement pour le NIR) :

Les conditions anaérobies liées à l'inondation partielle ou continue des rizières donnent lieu à des émissions de méthane potentiellement importantes qui dépendent principalement de ces conditions d'inondation, et des apports organiques. Les rizières demeurent très marginales en France, elles se cantonnent à la Camargue dont les surfaces en culture s'inscrivent en repli tendanciel depuis 1994 (accords de Marrakech) pour s'établir à 11 506 ha en 2022 ; à environ 700 hectares en Guyane française et à quelques hectares à Mayotte.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### Émissions de CO<sub>2</sub>

Les émissions de CO<sub>2</sub> des rizières liées à l'usage d'amendements basiques et d'urée sont rapportées dans les sections 3G et 3H.

## Émissions de CH<sub>4</sub>

Les émissions de CH<sub>4</sub> provenant des rizières sont estimées en utilisant le facteur d'émission proposé par le GIEC [1229] au sein du chapitre 5, calculé à partir de l'équation 5.2 :

$$EF_i = EF_C \times SF_w \times SF_p \times SF_o$$

*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.

### Situation en métropole

Le facteur d'émission  $EF_C$ , est issu des lignes directrices [1229], chapitre 5. Pour la métropole, il vaut 1,56 kg CH<sub>4</sub>/ha/jour (Europe). Les différents facteurs de correction utilisés pour adapter le facteur d'émission de référence à la situation en métropole sont les suivants :

- $SF_w$  : prend la valeur par défaut proposée par le GIEC pour le régime « irrigué », soit 0,6 ;
- $SF_p$  : prend la valeur par défaut proposée par le GIEC pour le régime hydrique « non inondé pendant une période supérieure à 180 jours », soit 0,89. En effet, d'après les informations collectées, il y a environ 7 mois sans eau avant la mise en place d'une nouvelle culture de riz en Camargue ;
- $SF_o$  : il correspond à la quantité d'amendements organiques apportés, et est calculé selon l'équation du GIEC 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 2019.

On considère qu'en France, les seuls amendements organiques apportés sont les pailles de riz. Le taux d'application associé est estimé à partir des quantités de matières sèches des résidus de la riziculture non brûlés (cf. calcul en section 3D\_Agricultural soils), quantités estimées annuellement et rapportées à la superficie des rizières. Ce taux est nul en début de période jusqu'en 2000, puis augmente jusqu'à osciller depuis 2005 entre 0,2 et 0,26 tonnes de matière sèche par hectare. Le facteur de conversion appliqué est celui correspondant à la modalité « paille incorporée longtemps avant la culture » du GIEC 2019, égal à 0,19. En effet, les pailles de riz en Camargue sont généralement enfouies après récolte ou durant l'hiver [964], donc longtemps avant la culture suivante.

La période de culture est supposée s'étaler du 20 avril/mi-mai (semis) jusqu'à mi-septembre/mi-octobre (récolte) [663].

Le facteur d'émission obtenu varie entre 125,4 kg CH<sub>4</sub>/ha/an en début de période et 128,7 kg CH<sub>4</sub>/ha/an en 2022.

Situation pour l'Outre-Mer

Le facteur d'émission  $EF_c$ , est issu des lignes directrices [1229], chapitre 5. Pour la Guyane, il vaut 1,27 kg  $CH_4$ /ha/jour (Amérique du Sud). Pour Mayotte, il vaut 1,19 kg  $CH_4$ /ha/jour (Afrique).

D'après les informations collectées, la riziculture en Guyane est irriguée depuis le début des années 1990, avec une forte mécanisation du secteur et plusieurs assecs (assèchement de la rizière en cours de culture). Le système de base consistait à produire 2 cycles par an, mais en 2007 les riziculteurs passent à un seul cycle. Ainsi, le facteur d'émission obtenu évolue dans le temps : de 1990 à 2006, il est de 80 kg  $CH_4$ /ha/an ; puis à partir de 2007, il est de 71 kg  $CH_4$ /ha/an.

Pour Mayotte, la période de culture est celle proposée par défaut par le Giec 2019. Le facteur d'émission obtenu est constant (98 kg  $CH_4$ /ha) sur toute la période.

Tableau 107. Récapitulatif des paramètres utilisés pour le calcul des facteurs d'émission du riz\*

	Provence-Alpes Côte d'azur	Occitanie	Mayotte	Guyane	
				1990-2006	2007-2022
$EF_c$	1,56	1,56	1,19	1,27	
$SF_w$	0,6	0,6	0,6	0,55	
$SF_p$	0,89	0,89	1,22	1,00	0,89
$SF_o$	1 - 1,03	1 - 1,03	1,00	1,00	
AO	0 - 0,26	0 - 0,26	0	0	
FCAO	0,19	0,19	1,00	1,00	
Période de culture (jours)	151	151	113	115	
FE (kg $CH_4$ /ha/an)	125 - 129	125 - 129	98	80	71

\* pour les paramètres variant sur la période, les valeurs minimum et maximum sont fournies.

**Émissions de  $N_2O$** 

Les émissions de  $N_2O$  des rizières sont rapportées dans la section 3D sur les sols agricoles.

**Émissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
16/02/2024	AnD	16/02/2024	EM

## SOLS AGRICOLES

Cette section concerne les émissions dues aux pratiques agricoles (épandage des fertilisants minéraux et organiques, travail du sol). Cette section n'inclut pas les activités de combustion de l'agriculture (installations fixes et engins spéciaux de l'agriculture) incluses dans la partie énergie.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	3D
CEE-NU / NFR	3D
SNAPc (extension CITEPA)	10.01.01 à 10.01.06, 10.02.01 à 10.02.06, 10.06.01, 04.06.21
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Surfaces et productions agricoles, livraisons d'engrais, épandages de boues d'épuration, épandages de composts, imports de produits organiques, populations animales	Valeurs essentiellement par défaut sauf pour le N <sub>2</sub> O (la répartition des modes de gestion des engrais minéraux et des déjections animales qui entre en compte dans le calcul des émissions de N <sub>2</sub> O est issue de données nationales). Facteurs d'émissions nationaux pour les COV biotiques

### Niveau de méthode :

La méthode appliquée correspond au rang GIEC 1 pour les émissions directes et indirectes de N<sub>2</sub>O. 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. La prise en compte des facteurs d'émission du raffinement du GIEC 2019 [1229] a notamment impliqué un travail important de désagrégation de données qui constitue une amélioration significative de la méthode (par rapport à l'application antérieure du Giec 2006 [902]).

La méthode correspond à une méthodologie de rang 2 EMEP pour les émissions de NH<sub>3</sub> et de rang 1 EMEP pour les particules.

La méthode correspond à une méthodologie de rang 3 EMEP pour les émissions de COVNM biotiques liées à la végétation.

### Références utilisées :

[14] CPDP (Comité Professionnel Du Pétrole, valeurs de Météo France)

- [85] SCEES - AGRESTE, Statistique agricole annuelle
- [92] CITEPA - PAJOT K., GABORIT G. FONTELLE-J-P. - Estimation annuelle des émissions de COVNM des sources biotiques dans la basse atmosphère France France (module COBRA) - Mai 2003
- [292] IFN - Inventaire des surfaces forestières par département, surface par essence, mise à jour annuelle
- [293] RENECOFOR (Réseau National de 883cosystèmes ÉCOsystèmes FORestiers) - Communication annuelle de données de températures diurnes et nocturnes
- [293] rENECOFOR (Réseau National de 883cosystèmes ÉCOsystèmes FORestiers) - Communication annuelle de données de températures diurnes et nocturnes
- [294] G-ENTHER A-B - Seasonal and spatial variation in natural volatile organic compound emissions. Ecological Application, 1997, vol. 7, pp 34-45
- [29-] 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.
- [-96] CITEPA - Logiciel COBRA version 2002 (Composés Organiques de la Biomasse Re'tetés dans l'Atmosphère) -[32] ADEME - Inventaire des installations de traitement des déchets (enquête périodique ITOM)
- [90] UNIFA - Les livraisons de fertilisants Franceux en France - Publication annuelle
- [410] SSP - AGRESTE. Données t léchargeables sur :  
<http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/page-d-accueil/article/donnees-en-ligne>.
- [441] EMEP/CORINAIR - Guidebook 1996, Volume 2, page B 9103-2
- [484] IIASA, Klimont Z, Cofala J, Bertok I, Amann M, He-es C, Gyrfas 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 2001, 2006, 2011 et 2017.
- [486] CITEPA - Méthodologie d'estimation des quantités de matière sèche et d'azote contenues dans les résiFrance culture en France, 2013.
- [511] MEDDE/DEB - Base de Données sur les Eaux Résiduaires Urbaines, 05/03/2012
- [537] ADEME - Impacts environnementaux de la gestion biologique des déchets, 2005
- [591] MEDDE - 2002. *Evaluation des quantités actuelles et futures de déchets épandus sur les sols agricoles et provenant de certaines activités*, 2002, p 51-52. Disponi le à l'adresse suivante : <http://www.biomasse-normandie.org/IMG/pdf/rapport.pdf>.
- [592] Mestrapports, V-aamse Landmaatschappij - Disponi es à l'adresse suivante : <https://www.vlaanderen.be/publicaties/mestrapport>
- [662] Enquêtes TERUTI, 1992-2003, Service Statistique et Prospective du Ministère de l'Agricul-ure.

- [706] IFA - FAO - Estimation des émissions gazeuses de NH<sub>3</sub>, NO et N<sub>2</sub>O par les terres agricoles à l'échelle mondiale - édité en 2003
- [719] INRA, Unité Infosol, Base de données gFrancehique 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.
- [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.
- [806] RTE Guyane - Référentiel Technico-Economique agricole' 2002 et 2012
- [807] Fiches d'Itéraires 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
- [-00] 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
- [965] Base de Données d'Analyses des Terres - BDAT, GIS SOL
- [1035] EMEP/ EEA Guidebook - édition 2011 - 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/#\\_donnees\\_consultees\\_le\\_19/06/2019](https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/ventes-de-pesticides-par-departement/#_donnees_consultees_le_19/06/2019)
- [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.
- [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-1<sup>er</sup> janvier 2020
- [1059] JRC - Map to limit area for leaching - Revue ESD 2019
- [-060] EMEP 2019, Chapitre 3D - Crop production and agricultural soils
- [1192] « ADEME, 2 » 2, Fiche technique « épandage » : la valeur agronomique des boues d'épuration <http://www.ademe.fr/partenaires/boues/ages/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. N<sub>2</sub>O 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]
- [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](https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers)
- [1202] 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 de 2007 disponibles en ligne : <https://geoservices.ign.fr/rpg>
- [1229] 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use
- [1249] AGRESTE, Recensement agricole 2020.
- [1262] Plan de développement agricole durable à Saint-Pierre et Miquelon , 2018. CACIMA, Chambres d'agricultures, Salva Terra
- [1293] DAVAR - Mémento agricole Nouvelle-Calédonie (annuel). <https://davar.gouv.nc/secteur-rural-statistiques-agricoles/le-memento-agricole>
- [1294] Données douanes - Import / Export engrais organiques. [https://www.douane.gouv.fr/la-douane/opendata?f%5B0%5D=categorie\\_opendata\\_facet%3A458](https://www.douane.gouv.fr/la-douane/opendata?f%5B0%5D=categorie_opendata_facet%3A458)
- [1296] AGRESTE, Recensement agricole 2000
- [1297] AGRESTE, Recensement agricole 2010
- [1298] Levasseur P., Soulier A., Lagrange H., Trochard R., Foray S., Charpiot A., Ponchant P. et Blazy V. Valorisation agronomique des effluents d'élevages de porcs, bovins, ovins, caprins, volailles et lapins. RMT Elevage et Environnement, Paris, 83 pages.

### Plan de section :

Données d'activité - Origines et quantités d'azote apportées

*Livraisons d'azote minéral*

*Déjections animales : épandage et pâture*

*Imports d'azote des pays frontaliers*

*Résidus de culture*

Épandage des boues  
 Épandage des composts  
 Épandage des digestats  
**Émissions de CO<sub>2</sub>**  
**Émissions de N<sub>2</sub>O**  
 Les émissions directes  
 Les émissions indirectes liées à la volatilisation  
 Les émissions indirectes liées au lessivage  
 Récapitulatif des sources d'azote et émissions de N<sub>2</sub>O des sols  
**Émissions de CH<sub>4</sub>**  
**Émissions de gaz fluorés**  
**Émissions de SO<sub>2</sub>**  
**Émissions de Nox**  
**Émissions de COVNM**  
**Émissions de CO**  
**Émissions de NH<sub>3</sub>**  
 Engrais synthétiques  
 Boues  
 Compost  
 Déjections importées épandues  
**Émissions de particules (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>)**  
**Métaux lourds (ML)**  
**Polluants organiques persistants (POP)**  
 Estimation des quantités de matière sèche des résidus de culture  
 FracRENEW(i)  
 AGDM(i)  
 AGDM(i) x 1000 + CROP(i)  
 Productions  
 IR  
 AreaBURNT et FracREMOVE  
 Cf  
 NAG  
 RBG-BIO  
 NBG

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Les émissions des sols agricoles sont liées aux quantités d'azote épandues. L'azote épandu peut être dispersé suivant différents modes (excrétion au pâturage, pulvérisateurs, buses-palettes, pendillards, injecteurs...) et sous différentes formes (engrais minéraux, effluents d'élevage, digestats, boues, composts, résidus de récolte). Une partie de l'azote est volatilisée sous des formes réactives (NH<sub>3</sub>, Nox, N<sub>2</sub>O principalement) ou non (N<sub>2</sub>). Le N<sub>2</sub>O est produit dans les sols au cours des processus de nitrification et de dénitrification.

La méthodologie développée dans les lignes directrices du GIEC 2019 [1229] 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], union des industries de la fertilisation, chargée officiellement de cette tâche par l'administration française. Afin de limiter les brusques variations liées aux fluctuations interannuelles du prix des denrées agricoles et de l'azote minéral, ces données de livraisons annuelles sont lissées sur 2 campagnes. Ces données lissées sont jugées plus représentatives de la consommation annuelle des agriculteurs car elles permettent de gommer les potentiels effets de stock (livraison  $\neq$  apports) et de recentrer les usages sur l'année civile et non sur la période de campagne (du 1<sup>er</sup> juillet au 30 juin pour les engrais azotés).

$$\text{Apport N minéral 2021} = \frac{\text{livraisons 2019/2020} + \text{livraisons 2020/2021}}{2}$$

Depuis 2014, un nouveau type d'engrais est considéré pour le calcul des émissions de  $\text{NH}_3$  : l'urée avec inhibiteur d'uréase. Les quantités étant, à l'heure actuelle, faibles en comparaison de l'azote total livré, elles sont comptabilisées avec l'urée classique dans le graphique ci-dessous, mais la distinction est bien mise en œuvre dans les calculs. La quantité d'urée avec inhibiteurs d'uréase est reconduite à l'identique depuis 2018 faute de données disponibles (secret statistique).

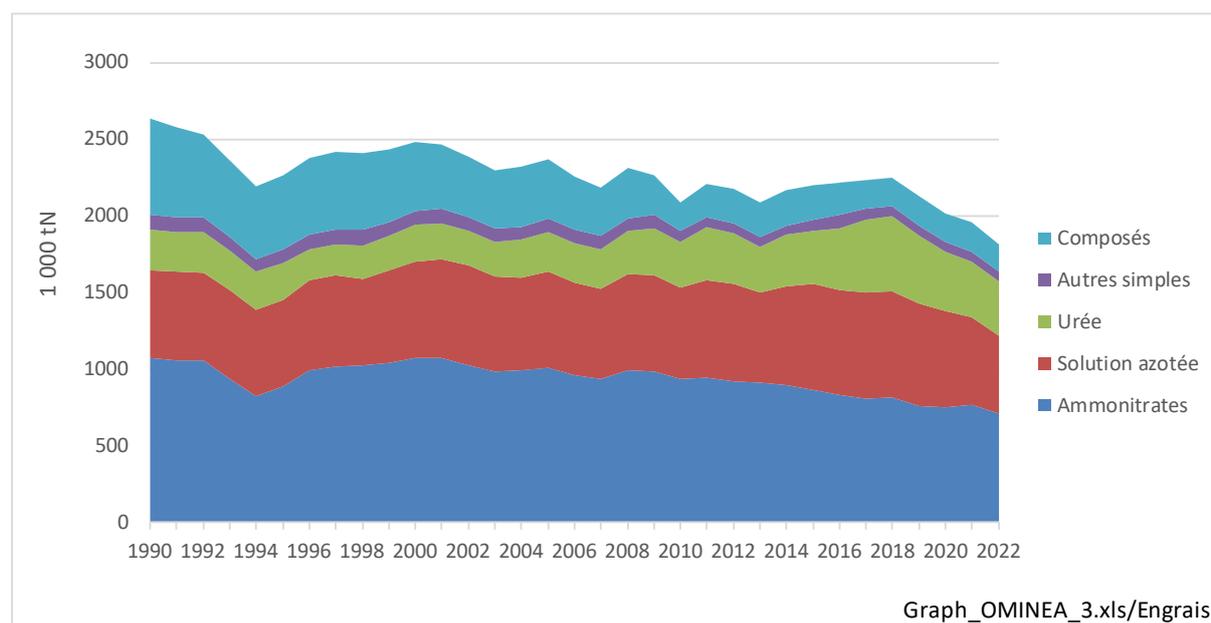


Figure 37 : Moyenne lissée sur deux campagnes des quantités d'azote livrées issues des engrais minéraux épanchés en Métropole (1 000 tN)

Pour les territoires d'Outre-mer inclus dans l'Union Européenne, des taux de fertilisation moyens par culture sont recalculés et appliqués aux surfaces correspondantes comme suit :

$$\text{Intrants} = \sum_i \text{Surface}_i \times \text{Fertilisation}_i$$

*Avec : Intrants = tonnes d'azote totales apportées pour un territoire ; Surface<sub>i</sub> = Surface de la culture i en hectares ; Fertilisation<sub>i</sub> = taux moyen de fertilisation pour la culture i en tonnes d'azote par hectare.*

Les données utilisées sont tirées des sources suivantes :

- Les surfaces par type de culture sont disponibles dans la base AGRESTE [410] à partir de l'année 2000, et, faute d'autres données disponibles pour l'Outre-Mer, sont considérées constantes entre 1990 et 2000.
- Les taux de fertilisation moyens par culture sont recalculés à partir de diverses sources : l'enquête pratiques culturales de 2011 [485] fournissant des données pour la Guadeloupe et la Réunion, les données des Référentiels Technico-Economique agricole de Guyane [806] ou encore les fiches techniques fournies par la Chambre d'Agriculture de Martinique [807]. Les données pour la canne à sucre ont été mises à jour sur la base des enquêtes pratiques culturales en 2017 (inclus Martinique). Les données concernant une culture ont été étudiées pour un territoire seulement mais sont extrapolées aux autres territoires. Les valeurs retenues sont reportées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 108. Fertilisation azotée par culture en Outre-Mer

	Fertilisation azotée kgN/ha
Maïs (grain et semence)	150
Riz	179
Canne à sucre	157
Pommes de terre et tubercules	88
Banane plantain	300
Autres prunes	153
Mangue	83
Corossol, Pomme cannelle	169
Goyave, Goyavier	263
Maracuja, Fruits de la passion, Grenadille	293
Ananas	360
Avocats	103
Bananes	425
Citrons, limes, combavas	13
Clémentines, mandarines	12
Oranges, tangor	21
Pamplemousses	18

Ces apports moyens azotés par culture sont également utilisés, combinés aux surfaces par culture estimées à partir de diverses sources [1041] [1042] [1043] [1262], pour obtenir la fertilisation minérale dans les autres territoires d'Outre-mer (hors Union Européenne). Une exception est à noter : la Nouvelle-Calédonie, territoire pour lequel les apports d'azote minéral sont estimés à partir des données disponibles dans le memento agricole [1293].

Sur le graphique ci-dessous, les territoires d'Outre-mer inclus dans l'Union Européenne sont notés « DOM » ; les autres territoires d'Outre-Mer (hors Union Européenne) sont notés « COM ».

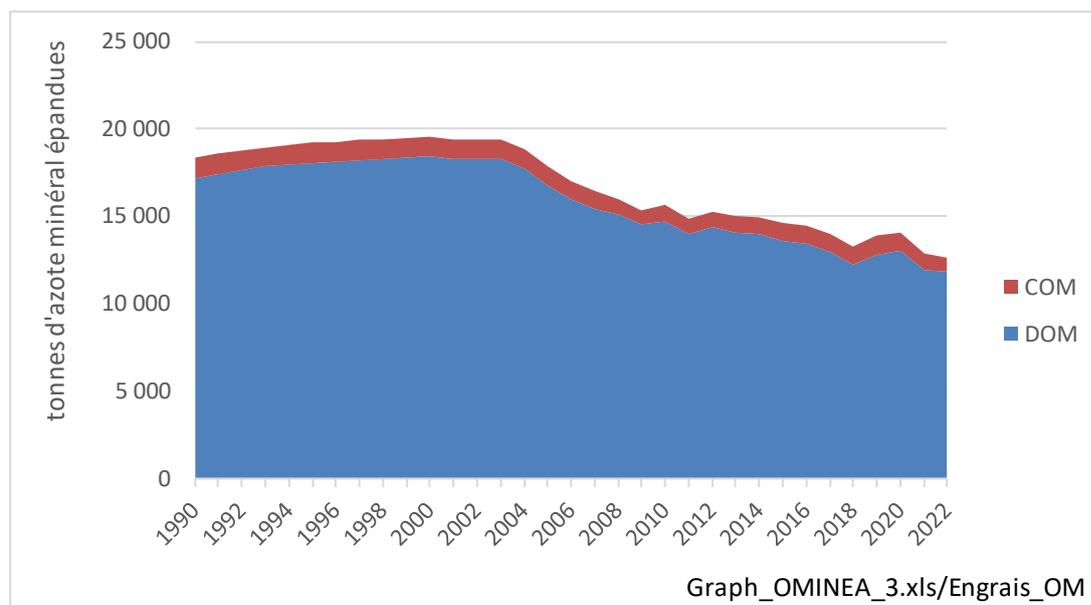


Figure 38 : Quantités d'azote issues des engrais minéraux épanchées en Outre-mer (tN)

### Déjections animales : épandage et pâture

L'azote contenu dans les déjections animales produites au bâtiment et épanchées 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 », « N\_épan\_liquide\_métha » et « N\_épan\_solide ».

L'azote contenu dans les déjections animales produites à la pâture est calculé à partir de nombreuses sources. Le calcul détaillé de ces quantités d'azote est décrit en section « 3B\_Manure management », et correspond au paramètre « Nex\_pâturage ».

### Imports d'azote des pays frontaliers

Les quantités d'azote contenues dans les déjections importées provenant des pays frontaliers à la métropole (Belgique, Luxembourg, Pays-Bas, Italie et autres pays frontaliers) sont recalculées différemment selon les périodes :

- Pour l'année 1990 : une hypothèse de stabilité a été retenue entre 1990 et 1991.
- De 1991 à 2001 : un rapport du MEDDE de 2002 [591] fournit des données d'importations en provenance d'Italie, des Pays-Bas, de la Belgique-Luxembourg et « Autres », et d'exportations (totales vers tous pays) de déjections pour la période 1991-2001. Les données sont fournies sous la forme de graphique, en Mg/an. Le rapport du MEDDE [591] et le Voortgangsrapport mestbank [592] de 2002 indiquent que la majorité des déjections sont d'origine avicole. La teneur moyenne en azote des déjections importées a été estimée sur la base du Voortgangsrapport mestbank [592] de 2002 et utilisée pour les années précédentes. Cette teneur est de 29,34 kg N/tonne de déjections.
- Pour 2002 et 2003 : des données d'importations d'azote provenant de Belgique sont disponibles annuellement dans les rapports Mestrapport publiés par le VLM (Vlaamse Landmaatschappij / « agence foncière flamande ») [592]. A ces données qui varient annuellement est additionné le solde calculé pour l'année 2001 des importations en provenance d'Italie, des Pays-Bas et « Autres » [591], moins les exportations françaises. Les parts de déjections porcines et de volailles importées sont déterminées à partir des

rapports VCM (Vlaamse coördinatiecentrum Mestverwerking - « centre de coordination flamand du traitement du fumier ») [1195].

- A partir de 2004 : les données des douanes [1294] sont utilisées. Ces données présentent les imports et exports pour la catégorie "*Engrais d'origine animale ou végétale, même mélangés entre eux ou traités chimiquement ; engrais résultant du mélange ou du traitement chimique de produits d'origine animale ou végétale (à l'exclusion des produits présentés soit en tablettes ou formes similaires)*". Les différents Mestrapport publiés pour les années post 2003 proposent également des quantités brutes et des quantités d'azote exportées. A partir de ces valeurs, on estime une teneur moyenne en azote des effluents exportés vers la France autour de 2,4%. Afin de rester conservateur, la valeur de 3% est utilisée pour convertir les données des douanes (quantités brutes) en azote.

Comme indiqué plus haut, la majeure partie des déjections importées est d'origine avicole. Le reste est attribué à des déjections porcines. Cette répartition entre déjections porcines et avicoles est définie à partir des différents Mestrapport entre 2002 et 2013. Faute d'autres données, la répartition 2002 est utilisée pour les années 1990-2001. De la même manière, la répartition 2013 est utilisée pour les années suivantes.

#### Résidus de culture

Les quantités d'azote retournées au sol par les résidus de cultures sont calculées selon la méthodologie proposée par le GIEC 2019 [1229], à partir de différentes données :

- les statistiques de production et de superficies publiées dans la base AGRESTE [410] ;
- les résultats des enquêtes pratiques culturales végétales issues du service du service statistique du Ministère de l'Agriculture [485] ;
- divers paramètres de calcul comme les indices de récolte ou encore les teneurs en matière sèche des grains. Ces paramètres sont soit fournis par des instituts techniques français, soit tirés du GIEC 2019.

La méthode de calcul des quantités d'azote issues des résidus est détaillée en annexe. Cette méthode est appliquée uniquement pour la métropole sur la base de la méthodologie Giec 2019 [1229]. Pour les territoires d'Outre-mer, faute de données disponibles, une estimation de l'azote des résidus est faite à partir du ratio « azote des résidus/surfaces cultivées » calculé pour la métropole, appliqué aux surfaces des territoires d'Outre-mer.

#### Épandage des boues

L'azote apporté par l'épandage des boues de traitement des eaux usées est estimé à partir des quantités de boues des stations d'épuration (en MS) épandues en France, tirées de la base de données nationale des eaux résiduaires urbaines [511], et de la quantité d'azote moyenne contenue dans les boues en France, estimée à environ 4,3% de N par tonne de matière sèche [1061] proche de la valeur par défaut (4,5 %) rapportée dans EMEP [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 digestats issus de la méthanisation est estimé à partir des quantités de digestats épandues (en Matière Brute) en France métropolitaine. Les méthaniseurs actuellement en fonctionnement sont principalement basés sur la codigestion d'effluents d'élevage avec d'autres substrats organiques.

Le calcul des émissions liées à l'épandage de la fraction animale du digestat (fumiers, lisiers) est séparé de celui lié au calcul des émissions liées à l'épandage des digestats d'origine non-animale (ensilages de cultures dédiées ou de cultures intermédiaires à vocation énergétique, résidus de culture, déchets du stockage et de la transformation de céréales, déchets de collectivités tels que des déchets verts, déchets de restauration ou des boues de station d'épuration, déchets des industries agroalimentaires...). Le calcul des quantités d'azote issues de la fraction hors-effluents d'élevage des digestats est explicité dans la partie introductive "3\_agriculture". Il s'appuie sur une estimation de la ration totale des méthaniseurs par catégorie d'intrant et de références sur la teneur en azote de ces catégories d'intrant.

### Caractéristiques de la catégorie (IIR) :

#### Émissions issues des pesticides

L'hexachlorobenzène (HCB) peut être présent à l'état de trace dans certains pesticides et donc être émis lors de l'application ces produits. Les données d'activité sont les données de vente de produits phytopharmaceutiques issues de la BNV-D, banque nationale des ventes réalisées par les distributeurs de produits phytopharmaceutiques [1036], disponibles sur la période 2008-2020. Pour chaque produit phytopharmaceutique, est donnée la quantité de substance active vendue exprimée en kilogrammes, par département du point de vente. En France, les produits concernés par des traces de HCB dans leur composition sont le piclorame, le chlorothalonil, le tefluthrine & le chlorthal. Pour 2022, la donnée d'activité de 2021 est reportée.

Pour la période avant 2008, faute de donnée disponible, une estimation est faite sur la base des surfaces traitées au moins une fois avec du chlorothalonil. Ces données de surfaces sont disponibles dans les enquêtes pratiques culturales 2011 [485] pour le blé tendre, blé dur, orge, triticale, pois protéagineux, pomme de terre et vigne. Pour chacune de ces catégories, on retient donc une part des surfaces traitées au moins une fois avec du chlorothalonil. Cette part est maintenue pour la période 1990-2012. On estime ensuite un apport moyen de chlorothalonil par hectare de surface traitée en ramenant la donnée calculée pour 2011 aux surfaces estimées. On obtient une dose moyenne de 0,82 kg de chlorothalonil/ha de surface traitée. Cette dose moyenne est ensuite appliquée aux surfaces traitées 1990-2008 pour estimer la quantité de chlorothalonil utilisée sur la période.

*A noter : l'approbation européenne du chlorothalonil, qui concentre la majeure partie des émissions estimées, n'a pas été renouvelée (règlement UE 2019/677 du 29/04/2019). En conséquence, les États Membres retirent les autorisations de mise en marché au plus tard le 20 novembre 2019 avec un délai de grâce le plus court possible et au plus tard le 20 mai 2020. Cela explique le fort recul depuis 2019 et la disparition en 2022 des émissions de HCB en provenance de cette substance.*

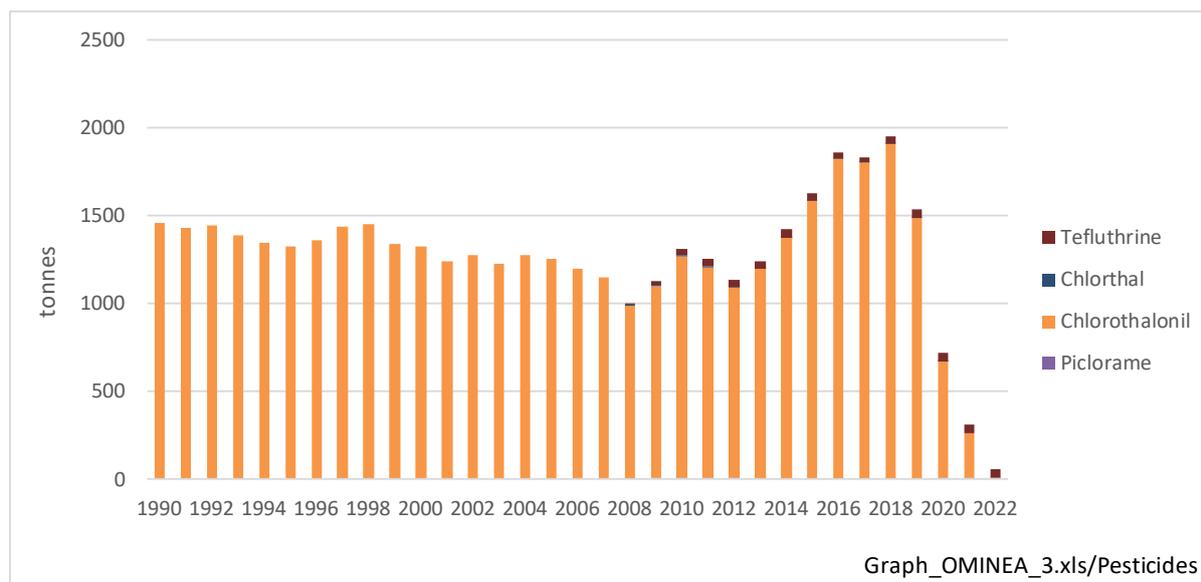


Figure 39 : Estimations des quantités de substances actives utilisées en France

#### Émissions biotiques de COVNM

Les formations végétales présentes dans les forêts, prairies et les cultures synthétisent naturellement des composés organiques volatils, au cours de leur croissance, en réponse à des blessures, aux variations de températures, etc. On parle de COV biotique, ou biogénique.

Ces émissions biotiques de COVNM dépendent de multiples paramètres dont le type d'essence végétale, la masse foliaire, la superficie occupée par l'essence végétale, la température et la luminosité. Les fonctions d'émission faisant intervenir ces paramètres ne sont pas linéaires et certains de ces paramètres sont fortement variables au cours de l'année (masse foliaire, température, ensoleillement), de la journée (température, ensoleillement), de la localisation (espèce végétale, température, ensoleillement), etc. La méthode de calcul des émissions prend en compte ces différents paramètres.

Les émissions biotiques de COVNM répertoriées actuellement dans l'inventaire différencient les sous-ensembles suivants : Isoprène (ISO), Monoterpènes (MT) et Autres COV (ACOV).

L'intégration de tous ces éléments est réalisée dans le modèle COBRA (Composés Organiques de la Biomasse Rejetés dans l'Atmosphère) [92] développé par le Citepa. Ce modèle fait appel à diverses données pour caractériser l'activité de cette source [14, 292, 293].

Depuis l'édition 2021, les émissions de CONVM des prairies et cultures sont rapportées au sein du total national. Du fait de la structure de certaines données sources, les émissions de COVNM des forêts sont actuellement rapportées en mémo item NFR pour la CEE-NU.

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

##### Émissions de CO<sub>2</sub>

Aucune émission de CO<sub>2</sub> n'est prise en compte pour le secteur 3.D conformément aux méthodologies des lignes directrices du GIEC 2019 [1229]. Toutefois, l'hydrolyse de l'urée dans les sols et la décarbonatation des amendements basiques conduisent à des émissions de CO<sub>2</sub> respectivement rapportées dans les catégories 3G et 3H. En ce qui concerne le

carbone contenu dans la matière organique des sols, l'intégralité de ces flux sont couverts dans le secteur sur l'utilisation des terres (UTCATF, section 4).

### Émissions de N<sub>2</sub>O

L'essentiel de la méthodologie et des facteurs d'émissions sont issus des lignes directrices du GIEC 2019 [1229]. Sont distinguées :

- les émissions directes de N<sub>2</sub>O suite à l'apport d'azote aux cultures ;
- les émissions indirectes de N<sub>2</sub>O liées à la volatilisation de l'azote sous diverses formes réactives (NH<sub>3</sub> et NO<sub>x</sub> principalement) et la déposition de ces dernières et de leurs produits sur les sols ou les eaux de surface ;
- les émissions indirectes de N<sub>2</sub>O 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 N<sub>2</sub>O.

#### Les émissions directes

Les émissions directes de N<sub>2</sub>O exprimées en kg de N-N<sub>2</sub>O sont calculées selon l'équation 11.1 du GIEC 2019 :

$$N-N_2O_{\text{directes}} = N-N_2O_{\text{entrées}} + N-N_2O_{\text{SO}} + N-N_2O_{\text{PPP}}$$

*Avec* :  $N-N_2O_{\text{entrées}}$  = émissions de N-N<sub>2</sub>O imputables aux entrées de N sur les sols (kg N-N<sub>2</sub>O/an) ;  $N-N_2O_{\text{SO}}$  = émissions de N-N<sub>2</sub>O imputables aux sols organiques gérés (kg N-N<sub>2</sub>O/an) ;  $N-N_2O_{\text{PPP}}$  = émissions de N-N<sub>2</sub>O imputables aux entrées d'urine et de fèces (kg N-N<sub>2</sub>O/an).

#### Apports d'azote : Paramètre $N-N_2O_{\text{entrées}}$

Le paramètre  $N-N_2O_{\text{directes}}$  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. Dans les lignes directrices du Giec 2019, FE<sub>1</sub> prend une valeur différente selon les zones climatiques et la source d'azote. En France métropolitaine 52 % du territoire se situe en climat humide et 48 % en climat sec selon la méthodologie du Giec [1229] (cf. section « 3\_agriculture »). Les émissions directes des sols cultivées sont tirées de l'équation 11.2 et 11.3 du Giec :

$$N - N_2O_{\text{entrées}} = \sum_i \{(F_{SN} + F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{OOA} + F_{CR}) \cdot FE_{1i}\} + F_{MOS} \cdot FE_1$$

#### Avec :

- $F_{SN}$  = quantité annuelle de N des engrais synthétiques appliquée aux sols (kgN/an) ;
- $F_{AM}$  = quantité annuelle d'effluents d'élevage appliquées aux sols (kgN/an),
- $F_{COMP}$  = quantité annuelle de compost appliqué aux sols (kgN/an),
- $F_{SEW}$  = quantité annuelle de boues appliquées aux sols (kgN/an),
- $F_{OOA}$  = quantité annuelle d'autres apports organiques appliqués sols (kgN/an),

- $F_{CR}$  = quantité annuelle de N retourné aux sols dans les résidus de récoltes (aériens et souterrains) (kgN/an) ;
- $F_{MOS}$  = quantité annuelle de N minéralisé dans les sols minéraux associée aux pertes de C de la matière organique des sols en raison de changements d'affectation des terres ou de gestion (kgN/an) ;
- $FE_{1i}$  = facteur d'émission des émissions de  $N_2O$  dues aux entrées de N (kgN- $N_2O$ /kgN) selon le climat  $i$ .

#### Emissions de $N_2O$ des engrais minéraux : $N - N_2O_{SN}$

Le calcul d'émission pour les engrais minéraux ( $N - N_2O_{SN}$ ) est réalisé sur la base de la carte des climats du Giec 2019 et en fonction de l'estimation des apports d'engrais minéraux au département  $F_{SNd} = L \times \frac{F_{SNd}}{\sum_d F_{SNd}}$  établie dans la section « 3\_agriculture ».

$$N - N_2O_{SN} = \sum_d F_{SNd} \cdot \{s_d \cdot FE_{1humide} + (1 - s_d) \cdot FE_{1sec}\}$$

Avec

- $A_d$  : apports d'engrais minéraux dans le département  $d$
- $s_d$  : % des surfaces du département  $d$  en zone humide
- $FE_{1humide/sec}$  : facteur d'émission en zone humide ou sèche
- $L$  : livraisons nationales d'engrais fournies par l'UNIFA

Le facteur d'émission moyen national en N- $N_2O$  est ainsi proche du précédent facteur d'émission proposé par le Giec 2006 (1%) et s'établit à 1,030 % en 2022. Celui-ci est variable dans le temps bien qu'il reste proche du niveau 2022 (variation sur la période min-max : 1,021 % - 1,035 %).

Pour l'Outre-Mer, le facteur d'émission choisi est 1,6% les régions étant situées à 100% en climat humide.

#### Emissions de $N_2O$ des autres apports organiques

Le principe de calcul des émissions utilisé est le même que pour les engrais minéraux mais s'effectue à des niveaux géographiques différents.

Pour les déjections produites en France, le calcul est effectué au niveau de la région  $r$  :

$$N - N_2O_{AM} = \sum_r F_{AMr} \cdot \{s_r \cdot FE_{1humide} + (1 - s_r) \cdot FE_{1sec}\}$$

Le facteur obtenu varie peu sur la période (0,5646 % - 0,5658 %). Il est également appliqué aux déjections importées.

Pour le reste des apports ( $F_{RR}$ ,  $F_{SEW}$ ,  $F_{COMP}$ ,  $F_{OOA}$ ), la pondération entre facteur d'émission en climat sec / facteur d'émission en climat humide est faite au prorata des surfaces nationales.

Les facteurs d'émission moyens pour l'année 2022 sont reportés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 109. Facteur d'émission des émissions de  $N_2O$  (kgN- $N_2O$ /kgN) pour 2022

source azote	FE1	
	Métropole	Outre-Mer
N engrais minéraux	1,03%	1,6%
N résidus de culture	0,552%	0,6%
N compost	0,552%	0,6%
N boues	0,552%	0,6%
N déjections épandues	0,566%	0,6%

### Emissions de N<sub>2</sub>O des sols organiques

Le paramètre  $F_{MOS}$  est à l'heure actuelle négligé car les terres cultivées restant terres cultivées (cultures) présentent globalement un puits de carbone au niveau des sols sur la période suivie. En revanche, pour les terres converties en terres cultivées, l'émission de N<sub>2</sub>O liée à la minéralisation est estimée, elle est comptabilisée dans le secteur UTCATF.

### Sols organiques : Paramètre N-N<sub>2</sub>O<sub>SO</sub>

Le paramètre N-N<sub>2</sub>O<sub>SO</sub> concerne les émissions directes liées aux sols organiques gérés (ou histosols cultivés). En France, quatre types de sols organiques sont considérés :

- les sols de cultures organiques en climat tempéré (Métropole)
- les prairies organiques en climat tempéré (Métropole),
- les sols de cultures organiques en climat tropical (Guyane),
- les prairies en climat tropical (Guyane).

L'équation du GIEC est adaptée de la façon suivante :

$$N - N_2O_{SO} = \sum_{i,j} F_{SO_{i,j}} \times FE_{2CP_{i,j}}$$

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<sub>2</sub>O/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 110. Facteurs d'émission des histosols cultivés - kg N-N<sub>2</sub>O/ha/an - source : IPCC (2013)

	Cultures	Prairies	Moyen
France Métropolitaine	13,0	1,6	3,4
Guyane	5,0	5,0	5,0

### Pâturation : Paramètre N-N<sub>2</sub>O<sub>PPP</sub>

Le paramètre N-N<sub>2</sub>O<sub>PPP</sub> concerne les émissions directes liées aux entrées d'urine et fèces des pâturages. Ces émissions sont calculées toujours en utilisant l'équation 11.1 du GIEC 2019 :

$$N-N_2O_{PPP} = F_{PPP,BVS} \times FE_{3PPP,BVS} + F_{PPP,MA} \times FE_{3PPP,MA}$$

*Avec : F<sub>PPP,BVS</sub> = quantité annuelle d'azote des urines et fèces déposée par les bovins, volailles, suidés, au pâturage (kg N/an) ; FE<sub>3PPP,BVS</sub> = facteur d'émission pour les bovins, volailles et suidés au pâturage (kg N-N<sub>2</sub>O/kg N) ; F<sub>PPP,MA</sub> = quantité annuelle d'azote des urines et fèces déposée par les moutons et autres animaux au pâturage (kg N/an) ; FE<sub>3PPP,MA</sub> = facteur d'émission pour les moutons et autres animaux au pâturage (kg N-N<sub>2</sub>O/kg N).*

Les paramètres F<sub>PPP,BVS</sub> et F<sub>PPP,MA</sub> ont été présentés plus haut, en section « Données d'activité - Origines et quantités d'azote apportées », ils sont disponibles au niveau régional. Les facteurs d'émission utilisés sont ceux proposés par défaut par le GIEC 2019. Pour les bovins, porcins et volailles, une distinction du facteur d'émission est faite par climat (humide/sec). Pour les ovins et autres animaux, un unique facteur d'émission est proposé. Les émissions sont ainsi calculées :

$$N - N_2O_{PPP} = \sum_r N_{PPP,BVS,r} \cdot \{s_r \cdot FE_{3PPP,BVS\_humid} + (1 - s_r) \cdot FE_{3PPP,BVS\_sec}\} + N_{PPP,MA,r} \cdot FE_{3PPP,MA}$$

Le facteur d'émission FE<sub>3</sub> des déjections animales à la pâturation obtenu, toutes espèces confondues, varie sur la période (min-max : 0,438 % - 0,445 %). Pour 2022, il vaut 0,445 %.

### Émissions de N<sub>2</sub>O directes totales

Les émissions de N-N<sub>2</sub>O directes sont converties ensuite en N<sub>2</sub>O 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 2019 [1229] :

$$N-N_2O_{DAT} = [(F_{SN} \times \text{Frac}_{GAZE}) + ((F_{ON} + F_{PPP}) \times \text{Frac}_{GAZM})] \times FE_4$$

*Avec* :  $Frac_{GAZE}$  = fraction de N d'engrais synthétique volatilisé sous forme de  $NH_3$  et de  $NO_x$  (kg N volatilisé/kg N appliqué) ;  $Frac_{GAZM}$  = fraction de N organique (engrais et pâture) volatilisé sous forme de  $NH_3$  et de  $NO_x$  (kg N volatilisé/kg N appliqué) ;  $FE_4$  = facteur d'émission de  $N_2O$  dues au dépôt atmosphérique de N sur les sols et les surfaces aquatiques (kg N- $N_2O$  / (kg N- $NH_3$  + N- $NO_x$  volatilisé)).

Plutôt que d'utiliser les fractions par défaut proposées par le GIEC, les émissions de  $NH_3$  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  $NH_3$**  » et « Émissions de  $NO_x$  » plus bas.

On a alors :

$$Frac_{GAZE} = (N-NH_{3\_SN} + N-NO_{x\_SN}) / F_{SN}$$

$$Frac_{GAZdéjections} = (N-NH_{3\_déjections} + N-NO_{x\_déjections}) / F_{déjections}$$

$$Frac_{GAZboues} = (N-NH_{3\_boues} + N-NO_{x\_boues}) / F_{boues}$$

$$Frac_{GAZcompost} = (N-NH_{3\_compost} + N-NO_{x\_compost}) / F_{compost}$$

$$Frac_{GAZpâture} = (N-NH_{3\_pâture} + N-NO_{x\_pâture}) / F_{pâture}$$

Ces fractions recalculées varient dans le temps. Le tableau suivant présente les valeurs moyennées obtenues sur le périmètre Métropole et DOM (périmètre UE) :

Tableau 111 : Fractions de l'azote épandu qui se volatilise sous forme de  $NH_3$  et de  $NO_x$ , utilisées dans le calcul des émissions de  $N_2O$  des sols - périmètre UE

		1990	2000	2010	2020	2021	2022
$Frac_{GAZE}$	Azote minéral épandu	6.6%	6.5%	6.8%	6.9%	6.7%	6.7%
$Frac_{GAZdéjections}$	Déjections animales épandues, produites et importées	15.1%	15.1%	14.7%	14.3%	14.5%	14.5%
$Frac_{GAZpâture}$	Déjections des animaux à la pâture	9.3%	9.4%	9.4%	9.4%	9.4%	9.4%
$Frac_{GAZboues}$	Boues épandues	11.9%	11.9%	11.9%	11.9%	11.9%	11.9%
$Frac_{GAZcomposts}$	Composts épandus	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%
$Frac_{GAZdigestats}$	Digestats épandus	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%

Le facteur d'émission lié au dépôt atmosphérique de N sur les sols et surfaces aquatiques ( $FE_4$ ) évolue lui aussi en fonction de la zone climatique Giec : il vaut 1,4% en climat humide et 0,5% en climat sec. Pour la métropole, selon les types d'apports, la pondération des facteurs d'émissions sec et humide est faite à différents niveaux :

- Pour les engrais minéraux : la répartition des apports d'azote minéral par département et par climat est utilisée comme pondération. Cela ne permet pas de prendre en compte la variabilité des potentiels émissifs des différentes formes d'engrais minéral mais ce point pourra être amélioré dans les éditions futures.
- Pour les déjections animales produites en France : les émissions de  $NH_3$  et  $NO_x$  associées sont connues au niveau régional. Ces émissions régionales sont redistribuées au prorata des surfaces par climat de la région, pour obtenir la pondération souhaitée.

- Pour l'azote des animaux à la pâture : la même méthode que celle pour les déjections animales est appliquée.
- Pour les autres apports d'azote (déjections importées, boues, composts, digestats hors effluents) : la pondération est faite au prorata des surfaces nationales par climat.

On obtient, pour l'ensemble de ces apports, un FE4 qui varie sur la période autour de 1%. Pour l'Outre-mer, le facteur pour climat humide est utilisé (100% des territoires considérés en climat humide).

Les émissions de N-N<sub>2</sub>O indirectes liées au dépôt atmosphérique sont converties ensuite en N<sub>2</sub>O 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 [1229] :

$$N-N_2O_L = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PPP} + F_{RR} + F_{MOS}) \times \text{Frac}_{LEACH} \times FE_5$$

*Avec* :  $\text{Frac}_{LEACH}$  = 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 N<sub>2</sub>O dues à la lixiviation et aux écoulements (kg N-N<sub>2</sub>O/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 N<sub>2</sub>O liée à la minéralisation est comptabilisée dans le secteur UTCATF.

Le paramètre  $\text{Frac}_{LEACH}$  est estimé en utilisant la valeur par défaut issue du GIEC 2019 qui est de 0,24 kg N<sub>lessivé</sub>/kg N<sub>apporté</sub>, valeur que l'on applique uniquement aux surfaces situées en climat humide et aux surfaces irriguées. La part moyenne des surfaces irriguées est estimée à partir des données des recensements agricoles (2000 [1296], 2010 [1297], 2020 [1249]) et des enquêtes pratiques culturelles 2011 et 2017 [485]. On considère sur la période qu'environ 4,9% des surfaces sont irriguées. Pour estimer la part des surfaces susceptibles de lessiver, la part des surfaces situées en zone de climat humide et la part des surfaces irriguées sont sommées. Ensuite, le calcul de l'azote lessivé est effectué à différentes échelles selon les apports :

- Pour les engrais minéraux : l'azote lessivé est estimé au niveau du département, en appliquant la part d'azote lessivé par défaut du Giec aux apports minéraux considérés épandus en zone susceptible de lessiver. Pour les surfaces situées en zone de climat humide, la part varie selon le département. En revanche, on considère que la part des surfaces irriguées est identique partout, égale à la part nationale.
- Pour les déjections animales produites en France : l'azote lessivé est estimé au niveau de la région en appliquant la part d'azote lessivé par défaut du Giec à l'azote des déjections considérées épandues en zone susceptible de lessiver. Pour les surfaces situées en zone de climat humide, la part varie selon la région. En revanche,

on considère que la part des surfaces irriguées est identique partout, égale à la part nationale.

- Pour l'azote des animaux à la pâture : la même méthode que celle pour les déjections animales est appliquée.
- Pour les autres apports d'azote (déjections importées, boues, composts, digestats hors effluents, résidus) : l'azote lessivé est estimé au niveau national directement, en appliquant la part d'azote lessivé par défaut du Giec à l'azote apporté considéré épandu en zone susceptible de lessiver.

Pour l'Outre-mer, l'ensemble des territoires étant considéré en climat humide, la part d'azote lessivé par défaut du Giec est appliquée à l'ensemble des apports. On ne considère pas d'irrigation en Outre-mer.

Le facteur d'émission de N<sub>2</sub>O dues à la lixiviation et aux écoulements (FE<sub>5</sub>) utilisé est celui proposé par défaut par le GIEC 2019 dans le tableau 11.3 : 0,011 kg N-N<sub>2</sub>O/kg N<sub>lessivé</sub>.

Les émissions de N-N<sub>2</sub>O indirectes liées dues à la lixiviation et aux écoulements sont converties ensuite en N<sub>2</sub>O de la façon suivante :

$$N_2O_L = N-N_2O_L \times 44/28$$

#### Récapitulatif des sources d'azote et émissions de N<sub>2</sub>O 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 1990-2022.

Tableau 112: Azote apporté aux sols cultivés par source en Métropole (tonnes d'azote)

	Engrais minéraux	Déjections *	Pâture	Boues	Compost	Résidus	Digestat
1990	2 631 880	613 149	970 326	16 216	2 132	1 237 111	131
1991	2 576 401	606 674	960 770	17 085	2 185	1 339 537	131
1992	2 530 752	600 503	957 341	17 999	2 240	1 479 629	131
1993	2 361 418	601 815	952 005	18 963	2 296	1 424 658	131
1994	2 187 868	607 191	954 777	19 978	2 741	1 398 871	131
1995	2 264 988	612 244	961 601	21 048	3 223	1 316 190	131
1996	2 372 833	614 180	964 861	22 456	4 110	1 327 962	131
1997	2 414 800	610 139	957 364	23 863	4 919	1 399 244	131
1998	2 405 738	609 062	952 465	25 271	5 720	1 474 952	131
1999	2 432 969	604 843	954 414	23 687	7 997	1 536 354	131
2000	2 482 362	618 625	984 490	22 102	8 782	1 543 610	211
2001	2 466 649	614 676	991 469	20 518	9 885	1 437 944	211
2002	2 388 270	605 348	962 623	19 701	11 110	1 512 584	262
2003	2 299 057	589 780	934 288	18 884	12 439	1 165 939	375
2004	2 316 478	577 727	917 658	18 067	13 610	1 570 218	375
2005	2 371 148	574 614	908 919	18 246	14 770	1 405 508	409
2006	2 254 665	569 614	909 788	18 424	16 289	1 434 835	489
2007	2 180 591	577 648	915 485	18 603	17 006	1 622 601	579
2008	2 311 681	588 257	912 189	18 782	17 646	1 620 380	948
2009	2 262 011	576 856	909 338	18 960	18 205	1 517 354	1 095
2010	2 089 567	573 096	899 659	22 865	18 580	1 397 033	1 704
2011	2 206 362	566 921	879 943	21 401	22 614	1 351 031	2 772
2012	2 178 660	559 385	873 176	21 405	26 652	1 537 346	4 788
2013	2 084 375	558 007	880 331	18 603	27 766	1 489 143	6 487
2014	2 167 376	560 030	890 871	20 699	28 888	1 648 781	9 089
2015	2 199 549	557 695	897 692	25 849	29 920	1 434 869	11 188
2016	2 214 700	554 547	895 732	21 388	30 966	1 268 623	13 235
2017	2 234 189	546 667	884 870	23 343	32 556	1 444 353	15 588
2018	2 250 835	541 382	867 482	25 298	34 175	1 302 585	19 972
2019	2 125 147	534 550	851 284	20 698	31 568	1 294 872	26 183

2020	2 016 775	530 712	834 609	17 687	29 071	1 240 992	32 273
2021	1 958 478	523 408	814 595	20 335	29 064	1 310 889	41 129
2022	1 812 818	511 560	793 903	20 395	29 071	1 259 763	48 152

\*produites et importées

Tableau 113: Azote apporté aux sols cultivés au sein des territoires d’Outre-mer inclus dans l’UE (tonnes d’azote)

	Engrais minéraux	Déjections	Pâturage	Boues	Compost	Résidus
1990	17 167	6 760	4 362	0	27	9 241
1991	17 402	6 691	4 332	0	27	10 122
1992	17 637	6 436	4 095	0	28	11 399
1993	17 872	6 284	4 024	0	29	11 680
1994	17 952	6 235	4 061	0	32	11 511
1995	18 031	6 128	4 027	0	36	10 726
1996	18 111	6 577	4 550	0	40	10 626
1997	18 190	6 528	4 622	0	40	11 001
1998	18 270	6 514	4 611	0	45	11 591
1999	18 349	6 298	4 330	0	60	12 244
2000	18 429	6 833	4 807	0	67	12 457
2001	18 253	6 745	4 999	0	70	11 517
2002	18 317	6 672	4 853	0	73	11 862
2003	18 282	6 641	4 761	0	78	9 028
2004	17 715	6 533	4 508	0	83	12 406
2005	16 808	6 195	4 396	0	122	11 013
2006	16 011	6 135	4 476	0	162	11 852
2007	15 447	5 699	3 994	0	184	13 141
2008	15 078	5 830	4 040	0	207	12 738
2009	14 555	5 662	3 940	0	279	11 620
2010	14 736	5 394	3 792	0	352	10 645
2011	14 027	5 388	3 750	0	362	9 884
2012	14 374	5 510	3 860	0	372	11 262
2013	14 080	5 270	3 732	0	442	10 673
2014	13 993	5 304	3 761	0	513	10 779
2015	13 620	5 247	3 768	0	507	9 109
2016	13 422	5 142	3 807	0	501	7 979
2017	12 933	5 071	3 836	0	503	8 999
2018	12 281	5 100	3 769	0	505	8 019
2019	12 830	5 053	3 721	0	556	8 112
2020	13 056	4 993	3 475	0	609	7 928
2021	11 965	5 089	3 543	0	609	8 163
2022	11 866	4 939	3 401	0	609	7 984

Tableau 114: Azote apporté aux sols cultivés au sein des territoires d’Outre-mer non inclus dans l’UE (tonnes d’azote)

	Engrais minéraux	Déjections	Pâturage	Boues	Compost	Résidus
1990	1 181	4 227	3 805	0	0	16 772
1991	1 195	4 282	3 847	0	0	18 227
1992	1 137	4 174	3 757	0	0	20 369
1993	1 085	4 087	3 596	0	0	20 712
1994	1 157	3 999	3 418	0	0	20 363
1995	1 210	4 247	3 641	0	0	18 931
1996	1 119	4 191	3 649	0	0	18 678
1997	1 175	4 140	3 660	0	0	19 260
1998	1 127	4 089	3 652	0	0	20 211
1999	1 134	4 088	3 743	0	0	21 264
2000	1 111	3 891	3 463	0	0	21 546
2001	1 118	3 853	3 559	0	0	20 218
2002	1 112	3 831	3 544	0	0	21 186
2003	1 148	3 789	3 501	0	0	16 006
2004	1 149	3 825	3 537	0	0	20 858
2005	1 080	3 568	3 145	0	0	18 350
2006	1 011	3 219	2 745	0	0	18 231
2007	1 045	3 280	2 799	0	0	20 038
2008	913	3 351	2 783	0	0	19 065
2009	825	3 251	2 747	0	0	17 322
2010	937	3 187	2 703	0	0	15 430
2011	840	3 124	2 643	0	0	14 435
2012	884	2 922	2 604	0	0	15 844

2013	943	2 866	2 589	0	0	15 278
2014	991	2 847	2 562	0	0	16 848
2015	999	2 818	2 542	0	0	14 674
2016	1 010	2 737	2 377	0	0	12 948
2017	1 023	2 689	2 343	0	0	14 759
2018	970	2 682	2 275	0	0	13 542
2019	1 071	2 877	2 517	0	0	13 456
2020	1 031	2 790	2 357	0	0	13 021
2021	893	2 847	2 367	0	0	13 724
2022	763	2 858	2 368	0	0	13 288

### Émissions de CH<sub>4</sub>

Aucune émission de CH<sub>4</sub> n'est prise en compte pour la section 3D conformément aux méthodologies des lignes directrices du GIEC, les émissions de CH<sub>4</sub> des rizières sont traitées dans la section 3C.

### Émissions de gaz fluorés

Aucune émission n'est attendue pour ce secteur.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### Émissions de SO<sub>2</sub>

Aucune émission n'est attendue pour ce secteur.

Émissions de NO<sub>x</sub>

Ces émissions sont rapportées dans les sous-codes NFR suivants (3Da1, 3Da2a, 3Da2b, 3Da2c, 3Da3).

Des émissions de NO sont estimées au niveau des sols agricoles. Elles sont associées à la présence d'azote réactif en lien avec la fertilisation des productions végétales et la présence des animaux. Ces émissions rentrent également dans le calcul des émissions indirectes de N<sub>2</sub>O.

Les émissions de NO<sub>x</sub> sont déterminées sur la base de la méthodologie EMEP 2019 en utilisant le facteur d'émission Table 3.1 p 12 :

$$N\text{-NO} = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PPP}) \times FE_{NO}$$

Avec :  $F_{SN}$  = quantité annuelle de N d'engrais synthétique appliquée aux sols (kgN/an) ;  $FE$  = facteur d'émission de NO associé aux apports azotés (kg N-NO/kg N) ;  $F_{ON}$  : quantité annuelle de fumier animal, compost, digestat, boues et autres ajouts organiques appliquée aux sols (kgN/an).

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 l'épandage des déjections (produites et importées), les boues, les digestats et les composts.

Le guide EMEP propose une méthodologie par défaut de rang 1, avec un facteur d'émission provenant du tableau 6 de Stehfest et Bouwman [1194], calculé à l'échelle européenne comme la moyenne pondérée des facteurs d'émission des cultures et des prairies (0,04 kgNO<sub>2</sub>/kgN épandu soit 0,012 kgN-NO/kgN ou 1,22 % de l'azote épandu).

Les émissions sont converties en équivalent NO<sub>2</sub> de la façon suivante :

$$\text{NO}_2 = \text{N-NO} \times 46/14$$

Cette valeur proposée par EMEP est nettement supérieure (de + 118 %) à la valeur retenue par Stehfest et Bouwman à l'échelle mondiale (0,55 %). De récents travaux (Skiba *et al.* 2021 [1242]) trouvent également un facteur d'émission plus bas (0,60 %) mais soulignent que le peu de données disponibles conduit à de fortes incertitudes sur ce facteur d'émission et recommandent ainsi de poursuivre l'utilisation du facteur par défaut EMEP. Par ailleurs, les auteurs n'ont pas observé d'influence significative de la forme d'engrais sur les émissions de NO.

### Émissions de COVNM

Aucune émission des sols eux-mêmes n'est estimée.

Les COVNM biotiques émis par la végétation sur les terres agricoles sont rapportées dans la catégorie NFR 3De « Cultivated Crops ». La méthodologie de calcul des émissions de COVNM des cultures et prairies gérées est la suivante :

Les émissions de COV biotiques sont estimées grâce au modèle COBRA (Composés Organiques de la Biomasse Rejetés dans l'Atmosphère) [92], développé par le Citepa, qui fait appel à diverses données pour caractériser l'activité de cette source [14, 292, 293] et dont les principaux éléments sont présentés ci-après.

Les algorithmes utilisés par le modèle COBRA appliquent l'équation suivante :

$$\text{EM} = e \cdot D \cdot S \cdot g$$

avec :

- EM : Émissions de COVNM par essence végétale,
- e : Taux normalisé d'émission,
- D : Densité de feuillage ou coefficient de biomasse foliaire,
- S : Superficie recouverte par l'essence végétale,
- g : Facteur environnemental correctif (généralement lié à la température et à la luminosité),

Les paramètres sont expliqués ci-dessous de manière succincte. Pour le détail des calculs, se rapporter au rapport spécifique sur le modèle [92].

Taux normalisé d'émission (e)

Ce paramètre est utilisé pour le calcul des émissions de COVNM des forêts uniquement.

Densité de feuillage (D)

La densité de feuillage forestier est utilisée uniquement pour le calcul des émissions de COVNM des forêts uniquement.

*Surfaces des peuplements (S)*

Les surfaces de cultures et de prairies par département sont issues de l'AGRESTE, statistiques agricoles [85] remises à jour annuellement.

Facteur environnemental correctif (g) :

Les algorithmes utilisés pour calculer les flux d'émissions sont ceux de Guenther [294] qui tiennent compte de la température foliaire et indirectement du rayonnement.

La température foliaire est assimilée dans le cadre de cet inventaire à la température ambiante. Les données de températures sont issues du réseau de RENECOFOR (REseau National de suivi à des ECosystèmes FORestiers) [293] de l'Office National des Forêts. Ce réseau est constitué d'un peu moins de trente stations de mesure de température réparties sur tout le territoire, de 1996 à nos jours. Il est complété à partir des moyennes de températures mensuelles éditées dans le CPDP [14] (valeurs de Météo France) de 1988 à 1995, grâce à une correspondance établie entre des mois de thermicité identique de la période 1996-2001. Ce qui signifie que ce sont des moyennes mensuelles de températures récentes, sélectionnées selon leur propriété à ressembler aux situations antérieures à 1996, qui ont été utilisées pour les années 1988 à 1996.

Le rayonnement est pris en compte sous la forme du PAR (Photosynthetically Active Radiation), utilisé dans l'équation de Guenther [294] qui correspond à une fraction du rayonnement global (RG) comprise entre 400 et 700 nm. Sa valeur est donc estimée selon  $PAR = 0,45 RG$  (Lambert [295]).

Résultats :

Le calcul des émissions suit donc un processus de type bottom-up spatio-temporel. Un module de calcul développé par le CITEPA permet de déterminer les émissions par catégorie d'essence végétale, par mois, par département et pour les catégories de COVNM : isoprène (ISO), monoterpènes (MT) et autres COV (ACOV) [296].

À noter : le calcul des émissions des COVNM émis par l'élevage aux postes épandage, pâturage et parcours est décrit dans la section 3B « Manure Management » mais celles-ci sont bien rapportées au sein des codes NFR liés aux sols agricoles (3Da2a épandage de déjections animales et 3Da3 pâturage).

### Émissions de CO

Aucune émission n'est attendue pour ce secteur.

### Émissions de NH<sub>3</sub>

Les émissions de NH<sub>3</sub> liées aux sols agricoles sont calculées de la façon suivante :

$$NH_3 = \sum_i ( F_{SN,i} \times FE_i ) + NH_3_{\text{Épandage}} + NH_3_{\text{Pâturage}} + F_{\text{boues}} \times FE_{\text{boues}} + F_{\text{compost}} \times FE_{\text{compost}} + F_{\text{digestat}} \times FE_{\text{digestat}} + F_{\text{import_déjections}} \times FE_{\text{déjections}}$$

*Avec:  $F_{SN,i}$  = quantité annuelle de N d'engrais synthétique  $i$  appliquée aux sols (kgN/an) ;  $FE_i$  = facteur d'émission de NH<sub>3</sub> associé à l'engrais  $i$  (kg NH<sub>3</sub>/kg N) ;  $NH_3_{\text{Épandage}}$  = émissions de NH<sub>3</sub> liées à l'épandage des déjections ;  $NH_3_{\text{Pâturage}}$  = émissions de NH<sub>3</sub> liées aux animaux à la pâture ;  $F_{\text{boues}}$  = quantité annuelle de N des boues appliquée aux sols (kgN/an) ;  $FE_{\text{boues}}$  = facteur d'émission de NH<sub>3</sub> associé aux boues (kg NH<sub>3</sub>/kg N) ;  $F_{\text{compost}}$  = quantité annuelle de N des composts appliquée aux sols (kgN/an) ;  $FE_{\text{compost}}$  = facteur d'émission de NH<sub>3</sub> associé au compost (kg NH<sub>3</sub>/kg N) ;  $F_{\text{digestat}}$  = quantité annuelle de N des digestats appliquée aux sols (kgN/an) ;  $FE_{\text{digestat}}$  = facteur d'émission de NH<sub>3</sub> associé au digestat (kg NH<sub>3</sub>/kg N) ;  $F_{\text{import_déjections}}$  = quantité annuelle de N des déjections importées appliquée aux sols (kgN/an) ;  $FE_{\text{déjections}}$  = facteur d'émission de NH<sub>3</sub> associé aux déjections (kg NH<sub>3</sub>/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 2019 [1060] 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.

Dans la carte des climats du Giec 2006, la Métropole est principalement considérée en zone « froide » (température moyenne <15°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). L'approximation d'un climat « froid » appliqué à toutes les régions a été effectuée.

*A noter : dans la nouvelle carte proposée par le Giec 2019, seulement 18% des surfaces métropolitaines sont en zone « froide ». Cependant, le guide Emep 2019 utilisé ici pour l'estimation des émissions de NH<sub>3</sub> faisant référence à la carte du Giec 2006, c'est bien cette dernière qui a été utilisée.*

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 2019. 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 2019, 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 115 : Facteurs d'émission de NH<sub>3</sub> pour les engrais minéraux

Type de fertilisant	kg NH <sub>3</sub> / 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<sub>3</sub> : 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<sub>3</sub> liées à l'épandage des déjections est décrit en section « 3B\_Manure management ».

#### Pâturage

Le calcul des émissions de NH<sub>3</sub> 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<sub>3</sub>/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<sub>3</sub>/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.

Les facteurs d'émission proposés par EMEP 2019 sont exprimés à partir de l'azote ammoniacal (TAN). Faute de données précises sur ces déjections, leurs teneurs en TAN par rapport à l'azote total ont été recalculées à partir de données françaises [1298]. On

considère pour les déjections d'origines porcines une teneur en TAN de 30%, et de 14% pour les déjections avicoles.

### Émissions de particules (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>)

Les facteurs d'émissions de niveau 1 des particules primaires sont fournis dans les lignes directrices EMEP 2019 [1060, table 3-1 p 14]. EMEP 2019 ne fournissant pas de facteur différencié pour les TSP (facteur égal à celui des PM<sub>10</sub>), ce dernier est calculé grâce à la granulométrie utilisée dans GAINS pour les sols agricoles [484, table 3.74 page 81]. Ces facteurs d'émission sont appliqués à l'ensemble des terres arables.

Tableau 116 : Facteurs d'émission de particules pour les sols agricoles

	TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
Facteur d'émission en kg/ha	28,36	1,56	0,06

### Métaux lourds (ML)

Aucune émission n'est attendue pour ce secteur.

### Polluants organiques persistants (POP)

Les émissions de HCB liées à l'application des pesticides sont estimées à partir des teneurs maximales fournies dans le guide EMEP 2019, mis à jour en Octobre 2018 (Chapitre 3Df, table 3 [1035]). On considère que tout le HCB présent dans la substance se volatilise lors de l'application.

D'après EMEP 2019 la liste des pesticides concernés sont les suivants : Atrazine, propazin, simazine, picloram, pentachloronitrobenzene (PCNB), chlorothalonil, dimethyl tetrachloroterephthalate (chlorthal), tefluthrin, lindane, pentachlorophenol (PCP) and PCP-Na.

Pour chaque type de pesticide, on multiplie la quantité de produit vendue en France par la teneur maximale fournie par EMEP, qui peut varier dans le temps.

Tableau 117 : Teneurs maximales en HCB pour les produits phytosanitaires

Teneur maximale en mg/kg de HCB	1990-1999	2000-2004	2005-2009	2010-année en cours
Picloram	50			
Chlorothalonil	300	40	10	40
Chlorthal	1000	40		

À noter : le guide EMEP n'indique pas de teneur en HCB pour le tefluthrin qui pourrait également contribuer aux émissions, et être un enjeu au vu des quantités vendues en France.

### Cas des résidus de culture (Annexe du NIR)

Estimation des quantités de matière sèche des résidus de culture

Les quantités de matière sèche des résidus par culture sont nécessaires pour l'estimation de 2 sources d'émissions distinctes :

- **Émissions de N<sub>2</sub>O** liées à la décomposition des résidus de culture, après conversion de la matière sèche en azote,
- Émissions liées au brûlage des résidus de culture.

Les quantités de matière sèche et d'azote des résidus de cultures aériens et racinaires sont estimées à partir de l'équation du GIEC 2019 [799] équations 11.6 et 11.7 et du paramètre

IR calculé au niveau national. Compte tenu des évolution méthodologiques des lignes directrices 2019, le choix a été fait de s'aligner au maximum sur la notation et les unités utilisées par le Giec pour les variables.

Tableau 118. Équations mobilisées pour le calcul des quantités azotées des résidus de récolte

(e1)	$FCR_{(T)} = \left[ AGR_{(T)} \cdot N_{AG(T)} \cdot \left( 1 - Frac_{Remove(T)} - (Frac_{Burnt(T)} \cdot C_f) \right) \right] + [BGR_{(T)} \cdot NBG_{(T)}]$
(e2)	$BGR_{(T)} = (Crop_{(T)} + AG_{DM(T)}) \cdot RS_{(T)} \cdot Area_{(T)} \cdot Frac_{Renew(T)}$
(e3)	$AG_{DM(T)} = Crop_{(T)} \cdot R_{AG(T)}$
(e4)	$Crop_{(T)} = YieldFresh_{(T)} \cdot DRY_{(T)} = \frac{Prod_{(T)} \cdot DRY_{(T)}}{Area_{(T)}}$
(e5)	$R_{AG(T)} = \frac{1-IR_{(T)}}{IR_{(T)}}$

Avec pour une culture  $T$  :

$FCR_{(T)}$	:	Azote des résidus retournant au sol (kgN/ha)
$AGR_{(T)}$	:	Matière sèche (MS) totale des résidus aériens avant export et brûlage (kgMS)
$N_{AG(T)}$	:	Teneur en azote des résidus aériens (kgN/kgMS)
$Frac_{Remove(T)}$	:	Fraction exportée des résidus aériens (%)
$Frac_{Burnt(T)}$	:	Fraction brûlée des résidus aériens (%)
$C_f$	:	Facteur de combustion (sans dimension)
$BGR_{(T)}$	:	Matière sèche des résidus racinaires (kgMS)
$NBG_{(T)}$	:	Teneur en azote des résidus racinaires (kgN / kgMS)
$Crop_{(T)}$	:	Rendement matière sèche de la culture $T$ (kgMS / ha)
$AG_{DM(T)}$	:	Matière sèche des résidus aériens (kgMS / ha)
$RS_{(T)}$	:	MS résidus racinaires / MS biomasse aérienne totale (sans dimension)
$Area_{(T)}$	:	Superficie récoltée de la culture $T$ (ha)
$Frac_{Renew(T)}$	:	Part des surfaces renouvelées annuellement (%)
$R_{AG(T)}$	:	MS résidus aériens / MS récoltée : $RAG = (1-IR)/IR$
$IR_{(T)}$	:	Indice de récolte (MS récoltée / MS biomasse aérienne) : $IR = 1/(1+RAG)$
$YieldFresh_{(T)}$	:	Rendement moyen de la culture $T$ (kg / ha)
$DRY_{(T)}$	:	Teneur en matière sèche des récoltes (%)
$Prod_{(T)}$	:	Production récoltée de la culture $T$ (en kg)

La méthode développée ci-dessus s'applique aux cultures pour lesquelles sont récoltées les parties aériennes. Dans le cas des betteraves et des pommes de terre, on utilise une quantité de matière sèche et d'azote de résidus aériens par ha pour calculer le  $F_{CR}$ , récapitulées dans le tableau à la fin de cette section [486], pour estimer les quantités d'azote et de matière sèche de résidus aériens. En effet, pour ces cultures les résidus de récolte n'augmentent pas avec le rendement racinaire.

$Frac_{Renew(T)}$

Le paramètre prend la valeur de 1 pour les cultures et  $1/x$  avec  $x$  le nombre d'années pendant lesquelles les pâtures ne sont pas renouvelées :

- Dans le cas des prairies artificielles et temporaires, le paramètre prend pour valeur  $1/3$ , car les prairies temporaires et artificielles sont censées être implantées pour moins de 6 ans ce qui donne en moyenne des prairies retournées tous les 3 ans, et qui est cohérent avec la fréquence d'implantation de culture de luzernes qui sont renouvelées tous les 3 ou 4 ans en général,

- Dans le cas des prairies permanentes (naturelles semées depuis plus de 6 ans et surfaces toujours en herbe peu productive), le paramètre prend la valeur de 1/8. Ce résultat est issu des enquêtes TERUTI [662] et correspond à la durée moyenne de « vie » des prairies permanentes en métropole sur la période 1992-2003.

$AG_{DM(T)}$

Le paramètre «  $AG_{DM}$  » (kgMS/ha) est estimé à partir de l'indice de récolte IR (fraction des parties aériennes constituée par le grain : MS récoltée / MS biomasse aérienne), de la surface de cultures et des productions (tMS).

$$AG_{DM(T)} = Crop_{(T)} \cdot R_{AG(T)} = \left( \frac{Prod_{(T)} \cdot DRY_{(T)}}{Area_{(T)}} \right) \times \left( \frac{1-IR_{(T)}}{IR_{(T)}} \right)$$

Pour le colza, l'équation du Cetiom a été utilisée afin d'estimer la valeur de ce paramètre [486]. L'équation est rapportée ci-dessous car celle présentée dans le rapport présente une erreur d'unité :

Résidus aériens (tonnes MS) = 0,0011 x Rendement MS (kg MS/ha) + 4,754
--

Pour les prairies et fourrages annuels (hors maïs) les équations des lignes directrices du Giec 2019 ont été mobilisées (table 11.2 p 11.19).

$AGR_{(T)}$

Le paramètre «  $AGR_{(T)}$  » (kgMS) est déduit des données de surfaces et du paramètre  $AG_{DM}$  selon l'équation suivante :

$$AGR_{(T)} = AG_{DM(T)} \cdot Area_{(T)}$$

Nous avons exclu le paramètre  $Frac_{Renew}$  dans l'équation ce qui n'a pas d'impact sur les cultures annuelles ( $Frac_{Renew} = 1$ ). Pour tous les types de prairies en revanche ( $Frac_{Renew} < 1$ ), cela implique que la fraction aérienne non prélevée par pâturage ou récolte est rendue disponible chaque année au sol, et contribue ainsi aux émissions. En effet, l'équation des lignes directrices du Giec 2019 n'est plus explicite sur le calcul du  $AGR_{(T)}$  notamment concernant l'ajout du paramètre  $Frac_{Renew}$  alors qu'il l'est pour le  $BGR_{(T)}$ . La pratique conservatrice consiste ainsi à retenir le calcul conduisant aux émissions les plus élevées afin d'éviter une sous-estimation de celles-ci.

$Prod_{(T)}$

Les données de productions sont issues de la SAA [410]. Les tableaux suivants représentent l'évolution des productions pour 18 catégories de cultures, regroupant les 40 cultures étudiées dans l'inventaire, en kilotonnes (kt).

Tableau 119 : 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	2 703	2 017	287

1996	35 935	9 404	14 319	120	2 460	2 878	2 049	242
1997	33 862	10 004	16 535	127	2 484	3 443	2 044	277
1998	39 801	10 431	14 885	114	2 690	3 690	1 759	293
1999	36 951	9 376	15 355	110	2 447	4 392	1 931	300
2000	37 344	9 716	15 977	115	2 494	3 476	1 833	236
2001	31 532	9 793	16 355	102	2 349	2 873	1 586	332
2002	38 888	10 956	16 309	104	3 145	3 318	1 495	225
2003	30 303	9 833	12 155	105	2 459	3 366	1 513	158
2004	39 615	11 011	16 375	113	3 212	3 998	1 456	160
2005	36 797	10 289	13 877	100	3 024	4 529	1 508	167
2006	35 267	10 372	13 033	92	2 883	4 145	1 437	167
2007	32 657	9 435	14 482	86	2 529	4 690	1 309	121
2008	38 860	12 110	16 152	103	2 896	4 716	1 595	80
2009	38 186	12 831	15 678	126	3 277	5 586	1 716	138
2010	38 023	10 046	14 155	110	3 158	4 811	1 636	189
2011	36 015	8 780	16 231	128	2 986	5 369	1 872	172
2012	37 890	11 343	15 707	123	3 424	5 466	1 586	147
2013	38 617	10 311	15 249	80	3 221	4 368	1 572	151
2014	38 972	11 723	18 797	83	3 283	5 524	1 584	273
2015	42 787	13 096	14 116	80	3 028	5 336	1 191	398
2016	29 285	10 439	11 970	80	2 466	4 743	1 170	394
2017	38 653	12 087	14 678	90	3 069	5 317	1 594	490
2018	35 833	11 173	12 892	72	2 688	4 981	1 235	459
2019	41 083	13 725	13 112	84	3 232	3 523	1 294	487
2020	30 536	10 398	13 888	77	2 858	3 290	1 608	481
2021	36 990	11 455	15 539	64	3 586	3 307	1 913	528
2022	35 024	11 375	10 842	66	3 087	4 517	1 779	444

Tableau 120 : 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	29 845	6 280	17 835	2 827	18 849	39 147	2 756
2007	585	257	33 197	7 100	18 978	3 259	25 992	48 032	3 259
2008	441	320	30 294	6 713	19 231	2 935	25 283	44 834	3 078
2009	536	446	35 126	7 027	19 743	2 610	21 574	37 769	2 662
2010	902	623	31 866	6 612	17 929	2 319	19 584	35 181	2 697
2011	564	433	37 941	7 450	20 396	1 987	17 976	31 274	2 672
2012	473	341	33 075	6 384	19 337	2 139	24 828	39 862	3 059
2013	425	300	33 619	6 979	19 780	2 113	23 568	38 908	3 593
2014	456	353	37 832	8 110	21 753	2 286	27 074	42 698	3 976
2015	557	364	33 590	7 170	18 912	2 435	21 018	32 089	3 250
2016	439	323	34 572	7 027	17 968	2 694	19 485	33 968	2 984
2017	629	342	46 298	8 645	21 128	3 025	20 695	35 968	3 295
2018	495	244	39 876	7 978	19 052	3 325	17 074	31 534	3 120
2019	595	300	38 013	8 686	18 397	3 300	16 305	29 772	2 849
2020	559	282	26 163	8 819	18 781	3 575	16 508	31 626	3 420
2021	552	379	34 365	8 985	18 749	3 576	16 516	31 642	3 421
2022	400	338	31 544	8 040	18 622	3 578	16 524	31 657	3 423

\*ou semées depuis plus de 6 ans

Les statistiques nationales [410] fournissent des productions de grains normalisées, c'est à dire ramenées aux teneurs en humidité commerciales (MH = 1-DRY). Ces productions annuelles en kt sont converties en kt MS grâce au facteur DRY (teneur en matière sèche). Les normes commerciales considérées sont de 15 % M.H. pour le maïs, le blé tendre et l'orge, 14,5 % M.H. pour le sorgho, à 14 % pour le pois et le soja, à 9 % M.H. pour le tournesol et le colza. Pour les fourrages, la statistique agricole fournit les valeurs directement en tonne de matière sèche.

$IR_{(T)}$

Les indices 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].

$Frac_{Remove(T)}$  et  $Frac_{Burnt(T)}$

Les paramètres  $Area_{BURN}$  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.

$C_f$

Les facteurs de combustion  $C_f$  proviennent des lignes directrices du Giec 2019 [1229], chapitre 2, Table 2.6 p 2.56

$N_{AG(T)}$

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]. Pour les prairies les valeurs des lignes directrices Giec 2019 ont été appliquées.

$RS_{(T)}$

Les valeurs prises correspondent aux valeurs par défaut des lignes directrices 2019, Table 11.1A p 11.17 [1229]

$N_{BG(r)}$

Le pourcentage d'azote dans la biomasse sèche des résidus racinaires ( $N_{BG}$ ) correspond aux valeurs par défaut des lignes directrices 2019 [1229].

Les différents paramètres retenus pour les résidus de culture sont synthétisés dans le tableau suivant. Les données étant spécifiques à 40 cultures différentes, ce tableau fournit des fourchettes par famille de cultures.

Tableau 121 : Synthèse des paramètres retenus pour les résidus de culture

	Unité	Blé tendre	Maïs grain	Colza	Tournesol	Pois protéagineux	Betteraves industrielles	Pommes de terre	Maïs fourrage	Autres fourrages annuels	Prairies artificielles	Prairies temporaires	Prairies naturelles ou semées depuis plus de 6 ans	STH peu productives
NAG	kgN / kgMS	0,64%	0,91%	0,70%	0,99%	1,35%	2,09%	1,45%	0,60%	1,50%	2,70%	2,50%	2,50%	1,50%
IR	%	49,00%	49,00%		33,33%	58,00%	72,69%	80,00%	90,00%					
RAG	-	1,041	1,041		2,000	0,724	0,376	0,250	0,111					
DRY	%	85%	85%	91%	91%	86%	23%	22%	32%	32%	21%	19%	21%	21%
Crop	kgMS / ha	6 043	8 525	3 074	2 487	2 460	19 852	9 294	14 291	4 495	8 410	7 102	5 402	1 195
Cf	-	0,9	0,8	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
FracBurnt	%	0,40%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,39%	3,09%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
FracRemove	%	53,40%	2,60%	8,90%	2,50%	7,60%	11,90%	11,90%	28,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
FracRenew	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,333	0,333	0,125	0,125
NBG	kgN / kgMS	0,009	0,007	0,009	0,009	0,008	0,014	0,014	0,007	0,012	0,019	0,016	0,012	0,012
AGDM	kgMS / ha	6 290	8 873	4 757	4 975	1 782	7 460	2 324	1 588	809	2 439	2 131	1 621	358
RS	-	0,23	0,22	0,22	0,22	0,19	0,20	0,20	0,22	0,54	0,40	0,80	0,80	0,80
FCR / ha	kgN / ha						140	40						



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
16/02/2024	AnD	16/02/2024	EM

## ÉPANDAGE D'AMENDEMENTS BASIQUES ET D'ENGRAIS CONTENANT DU CARBONE

Cette section concerne les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'épandage d'amendements basiques en agriculture et liées à l'épandage d'engrais contenant des carbonates.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	3G - 3I
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension CITEPA)	100601 / Chaulage - Épandage CAN
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Quantités d'amendements basiques épandues et quantités d'ammonitrates épandues	Facteurs d'émission par défaut GIEC 2006

### Niveau de méthode (GIEC) :

La méthode appliquée est de rang GIEC 1.

### Références utilisées :

[332] ANPEA (Association nationale professionnelle pour les engrais et amendements) - Résultats enquête amendements basiques - <http://www.anpea.com/>

[1229] 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use

[90] UNIFA - Les livraisons de fertilisants minéraux en France - Publication annuelle

### Caractéristiques de la catégorie (NIR) :

Le chaulage, c'est-à-dire l'apport au sol d'amendements basiques (roche calcaire broyée, chaux vive, scorie) est pratiqué depuis très longtemps en agriculture. Il permet de lutter contre l'acidification, phénomène qui diminue la fertilité du sol. Les apports sont de plusieurs types : calcaire broyé, dolomie, chaux vive chaux, magnésienne ou chaux éteinte. Les apports sous forme de calcaire et de dolomie entraînent des émissions de CO<sub>2</sub> lors de la décarbonatation des carbonates.

Suite à la revue ESD 2020, une source supplémentaire a été incluse, à partir de la soumission d'inventaire 2021. Cette catégorie ne fait pas l'objet d'un rapportage obligatoire. Il s'agit

des apports d'engrais contenant du carbone, tels que le calcium ammonium nitrate. Cet apport entraîne des émissions de CO<sub>2</sub> 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).

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

Les livraisons d'amendements basiques sont fournies par l'UNIFA [90]. Sont considérés les amendements crus (calcaire + dolomie + Maërl), les amendements mixtes, les amendements engrais, les écumes de sucreries et les autres amendements. Les livraisons d'ammonitrates (tonnes de produit et tonnes d'azote) sont également fournies par l'UNIFA, elles incluent les quantités de calcium ammonium nitrate CAN (ammonitrates bas dosage (N ≤ 28 %)).

La méthodologie inclut également les émissions de CO<sub>2</sub> 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 CaCO<sub>3</sub> [535]. Par ailleurs, il faut noter que des émissions de CO<sub>2</sub> 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 122 : Répartition des amendements carbonés

	Calcaire	Dolomie
Amendement calcaire pulvérisé, broyé ou concassé	100 %	
Amendement calco-magnésien pulvérisé, broyé ou concassé	50 %	50 %
Maërl pulvérisé, broyé ou concassé	100 %	
Amendement calcique mixte	50 %	
Amendement magnésien mixte		50 %
Amendements engrais	25 %	25 %
Carbonate de calcium issu de la production de pâte à papier	100 %	
Dolomie pulvérisée, broyée ou concassée		100 %
Ecumes de sucreries	100 %	

Le total de l'allocation n'est pas de 100% pour les amendements engrais car ils sont constitués pour moitié d'amendements cuits (décarbonés). Pour les écumes de sucreries, ce sont bien les quantités de CaCO<sub>3</sub> recalculées qui sont rapportées dans la catégorie calcaire, comme expliqué précédemment.

### Émissions de CO<sub>2</sub>

#### Amendements carbonés

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'épandage d'amendements carbonés sont estimées grâce au GIEC 2019 [1229].

$$\Delta C_{\text{Lime}} = M_{\text{Limestone}} \times EF_{\text{Limestone}} + M_{\text{Dolomite}} \times EF_{\text{Dolomite}}$$

Avec :

$\Delta C_{\text{Lime}}$  = Émission annuelle de carbone due à l'application d'amendements carbonés, t C/an  
 M = Quantité d'amendements calcaires ( $\text{CaCO}_3$ ) ou dolomitique ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), t C/an  
 EF = Facteur d'émission, t C/t amendement (12% pour  $\text{CaCO}_3$ , 13% pour  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )

### Calcium Ammonium Nitrate

Comme mentionné plus haut, les données de livraisons fournies par l'UNIFA sont utilisées. Comme cela est fait pour les estimations des émissions azotées de la catégorie 3D\_agricultural soils, afin de limiter les brusques variations liées aux fluctuations interannuelles du prix des denrées agricoles et de l'azote minéral, les données de livraisons annuelles sont lissées sur 2 campagnes. Ces données lissées sont jugées plus représentatives de la consommation annuelle des agriculteurs car elles permettent de gommer les potentiels effets de stock (livraison  $\neq$  apports) et de recentrer les usages sur l'année civile et non sur la période de campagne (du 1er juillet au 30 juin pour les engrais azotés).

$$\text{Apport 2021} = \frac{\text{livraisons 2019/2020} + \text{livraisons 2020/2021}}{2}$$

A partir de cette quantité lissée d'azote des ammonitrates et des poids molaires du nitrate d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), on obtient le tonnage de nitrate d'ammonium :

$$\text{Tonnes de } \text{NH}_4\text{NO}_3 = \text{tonnes de N lissées Ammonitrates} \times \text{MM}_{\text{NH}_4\text{NO}_3} / (\text{MM}_\text{N} \times 2)$$

Avec :

MM = Masse molaire (80 g/mol pour le  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  et 14 g/mol pour le N)

La part des composants calcaire ou dolomite est ensuite déduite par différence entre les tonnes lissées de produits (incluant du calcaire et de la dolomie) et les tonnes estimées de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  :

$$\text{Tonnes}_{\text{Calcaire ou dolomite}} = \text{tonnes de Produit lissées Ammonitrates} - \text{tonnes de } \text{NH}_4\text{NO}_3$$

On en déduit les émissions de  $\text{CO}_2$  :

$$\Delta C_{\text{AN}} = M_{\text{Calcaire ou dolomite}} \times \text{moyenne} (EF_{\text{Dolomite}} ; EF_{\text{Calcaire}})$$

Avec :

$\Delta C_{\text{AN}}$  = Emission annuelle de carbone due à l'application d'ammonitrates (AN), t C/an  
 M = Quantité de calcaire ou dolomite contenue dans les AN, t C/an  
 EF = Facteur d'émission, t C/t amendement (12% pour  $\text{CaCO}_3$ , 13% pour  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )

Les émissions de  $\text{CO}_2$  totales sont obtenues ainsi :  $\text{CO}_2$  (t  $\text{CO}_2$ /an) =  $(\Delta C_{\text{Lime}} + \Delta C_{\text{AN}}) * 44/12$

### **Émissions de CH4**

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie.

**Émissions de N<sub>2</sub>O**

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie.

Émissions de Gaz fluorés

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
16/02/2024	AnD	16/02/2024	EM

## APPLICATION D'UREE

Cette section concerne les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'épandage d'urée en agriculture. Les émissions de N<sub>2</sub>O et NH<sub>3</sub> sont rapportées et décrites dans la section 3D sols agricoles.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	3H
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension CITEPA)	100601 / Urée
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Quantité d'urée épandue (sous forme d'urée pure et de solutions azotées)	FE des lignes directrices 2006 [799] (pas de raffinement 2019)

### Niveau de méthode (GIEC) :

La méthodologie utilisée correspond à une méthode de rang 1 du GIEC.

### Références utilisées :

[90] UNIFA - Les livraisons de fertilisants minéraux en France - Publication annuelle

[799] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 4, Chapitre 11

[1229] 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use

### Caractéristiques de la catégorie (NIR) :

Cette catégorie concerne les émissions de CO<sub>2</sub> 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.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### Émissions de CO<sub>2</sub>

Les quantités d'urée épandues sont estimées à partir des données de livraisons d'urée (tN) et de solutions azotées (tN) rapportées par l'UNIFA [90]. Afin de limiter les brusques variations liées aux fluctuations interannuelles du prix des denrées agricoles et de l'azote minéral, les données de livraison sont lissées sur 2 années. Ces données lissées sont jugées

plus représentatives de la consommation annuelle des agriculteurs : elles permettent de gommer les potentiels effets de stock et de recentrer les usages sur l'année civile et non sur la période de campagne (du 1<sup>er</sup> juillet au 30 juin pour les engrais azotés). On suppose une répartition égale entre l'urée et l'ammonitrate au sein de la solution azotée. On convertit ensuite ces livraisons (tN) en tonnes, à l'aide des masses molaires de l'urée et de l'azote, pour pouvoir appliquer des facteurs d'émissions du GIEC.

L'équation 11.13 des lignes directrices GIEC 2006 [799] (pas de mise à jour dans le raffinement 2019 [1229]) est utilisée avec un facteur d'émission de 0,2 kgC-CO<sub>2</sub>/kg [799].

$$E_{CO_2} = M \times EF \times 44/12$$

Avec :

- $E_{CO_2}$  : Emissions annuelles de CO<sub>2</sub> liées à l'épandage d'urée (t CO<sub>2</sub>/an)
- $M$  : Masse d'urée (t/an)
- $EF$  : Facteur d'émission (tC-CO<sub>2</sub>/t)
- 44/12 : Conversion des tC-CO<sub>2</sub> en tCO<sub>2</sub>.

#### **Émissions de CH<sub>4</sub>**

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie.

#### **Émissions de N<sub>2</sub>O**

Les émissions de N<sub>2</sub>O sont rapportées et décrites dans la section 3D sols agricoles.

#### **Émissions de Gaz fluorés**

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie

## Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF)

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
16/01/2024	MJ	16/02/2024	EM

## UTILISATION DES TERRES, CHANGEMENT D’AFFECTATION DES TERRES ET FORESTERIE (UTCATF) - GENERAL

Cette section concerne les émissions et absorptions liées à l’utilisation des terres, aux changements d’affectation des terres et à la forêt. Dans les lignes directrices 2006 du GIEC, ce secteur est inclus dans une grande catégorie nommée AFOLU (Agriculture, forêt et autres utilisations des terres) mais la Convention Climat a préféré scinder le rapportage en deux secteurs pour des raisons historiques et de comptabilité différenciée. Les inventaires d’émission rapportent donc toujours deux secteurs distincts : le secteur UTCATF et le secteur Agriculture. Les méthodes spécifiques liées à chaque type de terre sont présentées dans des parties séparées.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	4
CEE-NU / NFR	NFR mémo hors total national
SNAPc (extension CITEPA)	11.11.04 à 11.12.15, 11.31.01 à 11.31.16, 11.03.01 et 11.03.02
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d’émission
Surfaces	Données spécifiques nationales

### Niveau de méthode :

Variable selon les sous-catégories, voir plus bas (paragraphe *Définition du secteur*)

### Références utilisées :

- [1] MEDDTL / CGDD / SoeS et anciennement Observatoire de l’Energie - Les bilans de l’Energie (données non corrigées du climat). Communication annuelle
- [197] MAP/SCEES - Publications Agreste. « L’utilisation du territoire ».
- [202] IGN/IFN - Données spéciales d’après l’inventaire terrain
- [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
- [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] ONF/CIRAD/CNRS- Expertise sur les références dendrométriques nécessaires au renseignement de l’inventaire national de gaz à effet de serre pour la forêt guyanaise - Rapport final, juin 2006

- [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
- [410] SSP - AGRESTE. Données téléchargeables sur : <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/page-d-accueil/article/donnees-en-ligne>.
- [424] INRA INFOSOL - Données issues du réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS), 2009
- [493] IFN/FCBA/SOLAGRO - Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020, Novembre 2009
- [594] IGN - <http://inventaire-forestier.ign.fr/>
- [610] INSEE ([www.insee.fr](http://www.insee.fr))
- [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.
- [719] INRA, Unité Infosol, Base de données géographique des sols de France, 1999.
- [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, Cartes des zones climatiques, d'après le GIEC.
- [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.
- [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
- [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 - Polynésie 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>
- [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.
- [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.
- [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.
- [1024] Agreste (2015), L'utilisation du territoire en 2014 - Teruti-Lucas ; Chiffres & Données 229.
- [1025] Ballet B. (2018). Rénovation de l'enquête Teruti. 13<sup>e</sup> 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.
- [1054] ESA CCI-LC Climate Change Initiative land cover version 2.0.7
- [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.
- [1229] 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use
- [1275] M. Jonard, I. Caignet, Q. Ponette, M. Nicolas. Evolution du carbone des sols forestiers de France métropolitaine - Détection et quantification à partir des données mesurées sur le réseau RENECOFOR. Rapport final. Juillet 2013

## Caractéristiques de la catégorie (uniquement pour le NIR) :

### Plan du chapitre

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.

### UTCATF - Général

Définition du secteur

Vue d'ensemble de la méthodologie

Méthode pour le suivi des surfaces d'utilisation des terres

Méthodes d'estimation des réservoirs de carbone

Forêts (4A)

Terres cultivées (4B),

Prairies (4C),

Terres humides (4D),

Zones urbanisées (4E),

Autres terres (4F),

Produits ligneux récoltés (4G),

Autres (4H).

### Définition du secteur

L'UTCATF traite toutes les questions relatives au carbone, depuis la biomasse vivante jusqu'à la matière organique des sols, et quelques sources d'émissions associées (émissions du brûlage sur site non agricole, etc.). Ce secteur intègre aussi une catégorie à part : les produits ligneux récoltés (produits bois), pour lesquels des flux de carbone et donc de CO<sub>2</sub> sont rapportés.

De son côté, le secteur Agriculture conserve les émissions des sols liées à la fertilisation et à l'élevage ainsi que les émissions de particules liées au travail du sol. Avec l'application des lignes directrices du GIEC 2006, le secteur agricole intègre aussi les émissions de CO<sub>2</sub> 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 particularité de pouvoir constituer des puits de carbone, et de compenser ainsi une partie des émissions de CO<sub>2</sub>. Il se distingue également des autres

secteurs de l'inventaire par le fait qu'il n'est pas centré sur des processus d'émission<sup>22</sup> mais sur des unités géographiques telles que les forêts, les cultures, les prairies, les zones humides, etc. Cette approche géographique permet de considérer de nombreux paramètres comme l'occupation, l'utilisation, l'historique des terres ou encore le climat dans le calcul des émissions et absorptions.

Les substances visées sont les gaz à effet de serre direct (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) et les polluants ayant un effet indirect (NO<sub>x</sub>, CO en particulier) car cette section est essentiellement concernée par l'impact de ces activités sur les changements climatiques. Toutefois, les émissions de COVM biotiques sont également considérées.

Tableau 123 : Détails relatifs au suivi des terres (*land representation*)

Suivi des terres ( <i>land representation</i> )		
Zone	France métropolitaine	Outre-mer inclus dans l'UE
Approche	Approche 3 - spatialement explicite	Approche 3 (sauf Mayotte)
Unité minimale de suivi	0,25 ha	voir description par territoire
Surface minimale de définition de la forêt	0,5 ha	0,5 ha
% du territoire géré	100%	100%

Tableau 124 : Détails sur la méthode utilisée selon les types de terres et les compartiments carbone pour le CO<sub>2</sub> (France métropolitaine)

Catégorie de terres	Biomasse vivante			Bois mort			Litière			Sols			
	spat.	temp.	source	spat.	temp.	source	spat.	temp.	source	Sols minéraux			sols organiques
										spat.	temp.	source	
Forest Land remaining	O	N	CS	O	N	CS	N	N	CS	O	N	CS	NO
Forest Land	+ Flux additionnels			+ Flux additionnels									
Land converted to Forest Land	O	N	CS	O	N	CS	N	N	CS	O	N	CS	T2
Land converted to Forest Land	+ Flux additionnels												
Cropland remaining	N	N	CS	N*	N	H*	N	N	H*	O	O	CS	T2
Cropland	+ Flux additionnels												
Land converted to Cropland	N	N	CS	N	N	H	N	N	H	O	O	CS	T2
Land converted to Cropland	+ Flux additionnels												
Grassland remaining	N	N	CS	N*	N	H*	N	N	H*	O	O	CS	T2
Grassland	+ Flux additionnels												
Land converted to Grassland	N	N	CS	N	N	H	N	N	H	O	O	CS	T2
Land converted to Grassland	+ Flux additionnels												
Wetlands remaining	N	N	H	N	N	H	N	N	H	N	N	CS	T2
Wetlands	+ Flux additionnels												
Land converted to Wetlands	N	N	H	N	N	H	N	N	H	N	N	CS	T2
Land converted to Wetlands	+ Flux additionnels												
Settlements remaining	N	N	H*	N	N	H*	N	N	H*	N	N	CS	NO
Settlements	+ Flux additionnels												
Land converted to Settlements	N	N	H*	N	N	H*	N	N	H*	N	N	CS	T2
Land converted to Settlements	+ Flux additionnels												
Other Land remaining	NA			NA			NA			NA			
Other Land	+ Flux additionnels												
Land converted to Other Land	N	N	H	N	N	H	N	N	H	N	N	H	T2
Land converted to Other Land	+ Flux additionnels												



spat.  
temp.  
source :



Estimé via le modèle de variation de stock à la maille  
 Détail calibration modèle :  
 Stock de référence spatialisé (par région, par sylvoécocorégion...) ? O : Oui, N : Non  
 Stock de référence avec variation temporelle ? O : Oui, N : Non  
 CS : Country specific, H : considéré nul par hypothèse  
 \*certaines sous-catégories sont assimilées à "Forêt mixte", se référer à la ligne forêt  
 Flux additionnel : récoltes, accroissement IFN, tempêtes...

<sup>22</sup> Il est à noter que ce mode de comptabilisation date du guide des bonnes pratiques UTCATF 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.).

Ci-après un exemple de lecture du tableau relatif à la méthode appliquée en France métropolitaine : dans la catégorie Forêt restant Forêt (Forest Land remaining Forest Land), les émissions et absorptions liées au réservoir Bois mort sont estimées via le modèle de variation de stock par maille. Le stock de référence varie spatialement, mais il ne varie pas dans le temps. La source d'estimation des stocks provient d'une donnée nationale. Des flux additionnels sont calculés et s'ajoutent aux résultats du modèle de variation de stock à la maille.

Les cellules en bleu dans le tableau ci-dessus sont toutes estimées via un modèle de variation de stock par maille, ce qui les rend a priori compatibles avec des méthodes de niveau 3 (tier 3). Selon l'interprétation des méthodologies des lignes directrices du Giec 2006 [672], une traduction en termes de niveau de méthode (tiers) est présentée dans le tableau ci-dessous, en fonction du type de stock de référence utilisé. Un stock spatialisé n'influence a priori pas le niveau de tier, mais c'est l'évolution de ce stock au sein d'une sous-catégorie au cours du temps qui est déterminant. Des subtilités d'interprétation existent, c'est pourquoi le descriptif du premier tableau a été retenu.

Tableau 125 : Lien entre le niveau de détail du modèle et les exigences de tier

Caractéristiques du stock de référence du modèle :	compatible avec un tier...		
	T1	T2	T3
spat = N	ü	ü	
spat = O	ü	ü	ü
temp = N	ü		
temp = O	ü	ü	ü
source = CS	ü	ü	ü
source = H	ü	ü	

Pour les territoires d'Outre-Mer inclus dans l'UE, les niveaux de méthodes appliqués sont décrits ci-dessous.

Tableau 126: Détails sur la méthode utilisée selon les types de terres et les compartiments carbone pour l'Outre-Mer (inclus dans l'UE)

Catégorie de terres	Niveaux méthodologiques (tiers)				
	Biomasse vivante	Bois mort	Litière	Sols	
				Sols minéraux	Sols organiques
Forest land remaining forest land	T2	NA	NA	NA	NO
Land converted to forest land	T2	T2	T2	NA	T2
Cropland remaining cropland	NA	NA	NA	NA	T2
Land converted to cropland	T2	T2	T2	NA	T2
Grassland remaining grassland	NA	NA	NA	NA	T2
Land converted to grassland	T2	T2	T2	NA	T2
Wetlands remaining wetlands	NA	NA	NA	NA	T2
Land converted to wetlands	T2	T2	T2	NA	T2
Settlements remaining settlements	NA	NA	NA	NA	NO
Land converted to settlements	T2	T2	T2	NA	T2
Other land remaining other land	NA	NA	NA	NA	NA
Land converted to other land	T2	T2	T2	NA	T2

NA : not applicable, or tier 1 equilibrium

T2 : tier 2

Tableau 127 : Catégories du secteur UTCATF estimées (O = Oui / N = Non) dans l'inventaire français

	Forêt	Cultures	Prairies	Zones humides	Artificiel	autres terres	Produits ligneux récoltés	Autres
	4A	4B	4C	4D	4E	4F	4G	4H
(I) Variation des stocks de différents réservoirs de carbone	O	O	O	O	O	N		
(II) Emissions directes de N <sub>2</sub> O liées à la fertilisation	N	O*	O*	N	N	N		
(III) Emissions de CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O liées au drainage ou à la remise en eau	N	O	O	N	N	N		
(IV) Emissions de N <sub>2</sub> O liées à la minéralisation des sols	O	O**	O**	N	O	N		
(V) Emissions indirectes de N <sub>2</sub> O	O	O**	O**	N	N	N		
(VI) Emissions de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O liées au brûlage sur site	O	O**	O**	O	O	N		
Produits ligneux récoltés							O	
Autres								O

O\* : Emissions intégralement rapportées dans le secteur agriculture

O\*\* : Emissions partiellement rapportées dans le secteur agriculture

## Méthode générale d'estimation des émissions (uniquement pour le NIR)

### Vue d'ensemble de la méthodologie

La méthode utilisée pour estimer les émissions et absorptions de GES du secteur UTCATF se base sur les lignes directrices du Giec (2006, 2019). Les méthodes de calculs et les données utilisées sont différentes entre la France métropolitaine, les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE et les autres territoires d'Outre-mer, mais les principes méthodologiques de base restent les mêmes. On peut résumer la méthode de calcul de ce secteur en quatre grands volets : l'estimation des surfaces d'utilisation des terres et de changement d'utilisation des terres ; l'estimation des flux de carbone liés aux changements d'utilisation des terres ; l'estimation des flux de carbone sur les terres sans changement d'utilisation, liés à la gestion de la biomasse et des sols ; et les autres flux, y compris les flux des autres GES que le CO<sub>2</sub>.

Pour la France métropolitaine, le suivi des surfaces d'utilisation des terres est réalisé selon une approche spatialement explicite (dite approche 3). Un modèle multisource, basé sur un maillage régulier du territoire (grille de 50m sur 50m) vient intégrer des données cartographiques d'occupation des sols et d'utilisation des terres pour reconstituer une série temporelle cohérente d'évolution annuelle de l'utilisation des terres. Un modèle d'estimation de la variation des stocks de carbone par maille et par année permet d'estimer les gains et pertes de carbone pour chaque compartiment, reflétant les effets des changements d'utilisation ou les changements de gestion. Des données sur la variation de la biomasse forestière, issues d'observations fines du terrain par l'IGN, sont intégrées afin d'estimer, en forêt, la croissance, mortalité et les récoltes. Ces estimations sont complétées par l'estimation d'autres sources (feux de forêt, produits ligneux récoltés, drainage des sols organiques, etc.)

Pour les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE, le suivi des surfaces d'utilisation des terres est réalisé selon une approche statistique (dite approche 2). Les flux de carbone liés aux changements d'utilisation des terres sont estimés par variation de stock. Pour les terres sans

changement, une hypothèse de neutralité est généralement appliquée (sauf, par exemple, pour les flux liés à l'exploitation forestière en Guyane).

Pour les territoires d'Outre-mer hors UE, le suivi des surfaces d'utilisation des terres est réalisé selon une approche statistique (dite approche 2) ou bien une approche par défaut sans estimation des changements (approche 1). Sur ces territoires, les estimations se limitent généralement aux flux liés aux changements d'usages des terres et aux feux de forêt.

## Méthode pour le suivi des surfaces d'utilisation des terres

### Suivi des terres : généralités

#### Territoire géré et non géré

Dans le cadre du secteur UTCATF, actuellement, tout le territoire est considéré géré (*managed land*), en France métropolitaine et en outre-mer inclus dans l'UE. Cette considération répond à la définition du Giec : « les terres gérées sont les terres subissant interventions et pratiques humaines à des fins productives, écologiques ou sociales » (Giec 2006, vol 4 ; 3.2). Certaines zones sont peu habitées, elles demeurent gérées à des fins écologiques notamment, sous les régimes des parcs nationaux (exemple : Parc Amazonien de Guyane ; Parc National de la Vanoise...). A noter cependant qu'une partie des autres territoires d'Outre-mer (hors UE), en particulier au sein des Terres Australes et Antarctiques Françaises, est considérée non-gérée.

#### Approche pour la représentation des terres

Pour la France métropolitaine, la France applique une approche 3, spatialement explicite, pour la représentation des terres et le suivi des surfaces d'utilisation des terres et de changement d'utilisation des terres, telle que définie par le Giec (2006, vol.4, chap.2). Plusieurs données cartographiques sont mobilisées au sein d'un modèle d'intégration, sur la base d'un maillage régulier du territoire.

Pour l'Outre-mer, l'approche dépend des territoires. Pour les territoires d'outre-mer inclus dans l'UE une approche 3, spatialement explicite (avec une résolution moindre qu'en métropole), est aussi utilisée avec des points d'échantillonnages permanents sauf pour Mayotte pour laquelle ces données n'existent pas et qui correspond plutôt à une approche 2. Pour les territoires d'outre-mer hors UE, une approche 1 est appliquée.

Critères de transparence, exactitude, exhaustivité, comparabilité, cohérence (TACCC)

L'approche multi-source et spatialement explicite respecte les principes de transparence, exactitude, exhaustivité, comparabilité, cohérence définis par la CCNUCC :

- Transparence : la méthodologie est décrite dans ce document (voir Annexe pour une description détaillée). Les données géographiques sont consultables lors d'une revue, et un outil de visualisation cartographique permet de repérer l'historique de l'usage de chaque maille du modèle. Par ailleurs, l'intégralité des matrices 1 an et 20 ans utilisées dans l'inventaire est disponible par région et par année dans le fichier LULUCF\_background.xlsx
- Exactitude : cette approche vise à s'approcher le plus possible de la réalité, en se basant sur des cartographies les plus pertinentes et précises possibles, et détectant des changements d'usage avérés, en évitant la détection d'artefacts.
- Exhaustivité : l'ensemble du territoire métropolitain est couvert par la méthodologie, et toutes les catégories d'usage des terres sont considérées.
- Comparabilité : Les résultats finaux sont disponibles avec un détail fin par compartiment carbone, région, catégorie d'usage, permettant une comparabilité avec d'autres estimations. Les résultats intermédiaires cartographiques facilitent encore plus cette comparabilité.
- Cohérence :

- cohérence spatiale : l'approche utilisée est cohérente sur l'ensemble du territoire métropolitain. En revanche, faute de jeux de données homogènes pour les territoires d'Outre-mer, ces derniers sont estimés avec des approches et données sources différentes, mais en respectant les mêmes principes.
- cohérence temporelle : une attention particulière est portée à la cohérence temporelle des résultats, malgré des données sources ne couvrant pas la totalité de la période de calcul.

#### Unité minimale de suivi

Pour la métropole, l'approche spatialement explicite pour le suivi des terres permet un suivi dans le temps d'une unité minimale de 0,25ha, correspondant à la surface d'une maille de la grille utilisée. Les calculs des flux de carbone sont effectués, en partie à l'échelle de la maille, en partie à échelle régionale (22 anciennes régions administratives).

Pour l'Outre-mer, le suivi des surfaces d'utilisation des terres et le calcul des flux de carbone se fait à l'échelle de chaque territoire (6 territoires d'Outre-Mer inclus dans l'UE et 7 territoires d'Outre-mer non inclus dans l'UE).

#### Vue d'ensemble

Tableau 128 : Sources d'information utilisées pour le suivi des terres en fonction du territoire

Périmètre	Territoire	Superficie (ha)	Approche	Données source
Métropole	France métropolitaine	54 920 010	3	Combinaisons de plusieurs données cartographiques (voir ci-après).
Outre-mer inclus dans l'UE	Guyane	8 553 400	3	ONF-IGN [327, 382, 673]
	Guadeloupe	162 800	3	ONF-IGN [383]
	Martinique	112 800	3	ONF-IGN [384]
	Réunion	250 400	3	ONF-IGN [385]
	Mayotte	37 400	2	RGA [389], SDGAGE [390], FRA [391]
	Saint-Martin	5 320	3	ESA CCI-LC [1054]
Autres territoires d'Outre-mer	St Barthélémy	2 400	3	ONF-IGN [383]
	Saint-Pierre-et-Miquelon	24 200	1	ONFi [976] et [977]
	Wallis et Futuna	12 420	1	STARP [979] et ONFi [976]
	Polynésie française	416 700	1	ONFi [976]
	Nouvelle-Calédonie	1 857 550	1	ONFi [976]
	TAAF* (dont Terre-Adélie)	43 967 200	1	Hypothèses
	Île de Clipperton	1 700	1	Hypothèses

\*TAAF : Terres australes et antarctiques françaises.

#### Suivi des terres en France métropolitaine

Pour la France métropolitaine une approche spatialement explicite est appliquée. Plusieurs données cartographiques sont mobilisées et intégrées dans un modèle et une grille régulière pour reconstituer l'historique de l'utilisation des terres, pour chaque année, et chaque maille.

*Un résumé de la méthode est présenté ci-dessous.*

#### Principe général

Le schéma ci-dessous présente les grandes étapes.

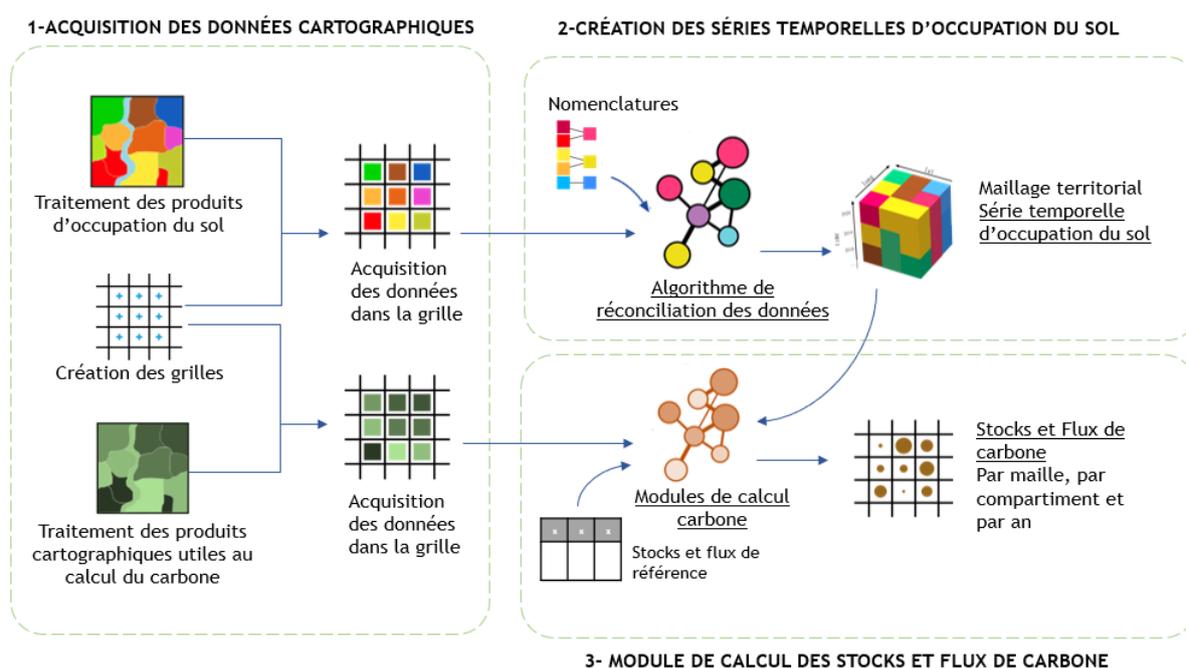


Figure 40: Principe général du suivi des terres et du modèle de calcul carbone associé (modèle de variation de stock à la maille)

Une grille régulière, couvrant tout le territoire, a été créée. Elle est composée de mailles de 50m de côté. Les données cartographiques sur l'utilisation des terres et les changements d'utilisation des terres ont été intersectées avec les centroïdes de ces mailles. Les classes d'utilisation des terres issues des nomenclatures d'origine de chaque donnée sont mis en correspondance avec une nomenclature de catégories d'utilisation des terres adaptée aux besoins de l'inventaire. Un algorithme sélectionne, parmi les données sources disponibles pour chaque centroïde, les données les plus fiables pour fixer la catégorie d'utilisation des terres d'une année récente, et les éventuels changements d'utilisation sur différentes périodes, en conservant la cohérence temporelle. Cette première estimation des changements d'utilisation, basée sur les produits renseignant spécifiquement des polygones de changements, sous-estime certaines dynamiques. Des modules supplémentaires du modèle viennent compléter ces surfaces de changements, à l'aide de données spécifiques, pour trois dynamiques : les boisements et déboisements, l'artificialisation, et les rotations culturales des terres agricoles. Enfin, ces estimations de surfaces annuelles sont extrapolées et complétées pour produire des matrices d'utilisation des terres complètes, cohérentes et répondant aux besoins de rapportage.

## Grille

Une grille régulière a été créée sous SIG pour couvrir le territoire de la France métropolitaine dans son ensemble (Corse et autres îles incluses). Cette grille a été construite sur la base de [la grille européenne de référence de l'EEA](#). A partir de ce référentiel de mailles de 1 km × 1 km, un maillage densifié de 50 m × 50 m a été construit, en décalant horizontalement et verticalement la grille de 25 m pour que les centroïdes des mailles de 50 m coïncident avec les intersections des mailles EEA.

La grille est constituée de mailles régulières carrées de 50 m de côté, soit d'une surface de 0,25 ha chacune. Cette surface a été choisie pour deux raisons principales. La première est qu'elle est compatible avec le seuil de surface minimale de définition officielle de la forêt en France (0,5 ha). La seconde est qu'elle correspond généralement à l'échelle spatiale des grands ensembles d'utilisation du sol (aires urbaines et lotissements, parcelles agricoles, surfaces boisées), et est

raisonnable compte tenu de la résolution spatiale des produits cartographiques disponibles et des contraintes de calcul.

Le point central de chaque maille, ou « centroïde », sert de base à l'ensemble des opérations d'intersection entre les données cartographique et la grille. Dans les cas où une maille se trouve à cheval entre plusieurs polygones d'utilisation des terres pour une donnée source, cela permet de ne récupérer qu'une seule information par maille, et de privilégier la représentativité statistique des centroïdes plutôt que de favoriser les surfaces majoritaires au sein de chaque maille. Toutes les catégories, mêmes celles représentées par des petits polygones, ont la même chance d'être retenues.

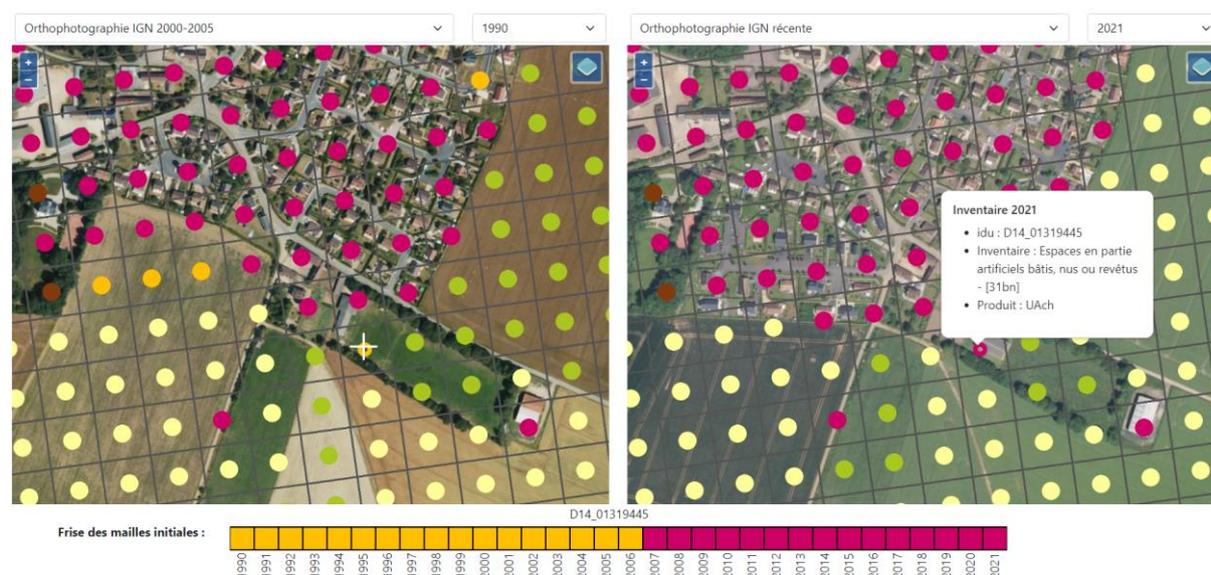


Figure 41 : Aperçu de la grille (mailles de 50m\*50m soit 0.25ha).

Chaque maille est identifiable grâce à un identifiant unique et conserve l'information de la catégorie d'usage du sol pour chaque année (voir frise chronologique sous la figure ci-dessus), ainsi que le produit qui a été retenu pour en définir l'usage.

## Données et prétraitement

Les données cartographiques suivantes ont été sélectionnées pour être intégrées au modèle de reconstitution de l'historique de l'utilisation des terres et des changements d'utilisation des terres. Ces données ont été sélectionnées parmi un ensemble de données disponibles avec les critères suivants :

- les données doivent être de type vectorielles (type « wall-to-wall ») ou raster (les données statistiques comme LUCAS ou TerUti ont donc été écartées);
- les données peuvent couvrir toutes les catégories d'usage ou non ;
- les données doivent couvrir tout le territoire afin d'avoir une approche comparable entre régions (les données régionales ont été écartées) ;
- les données couvrant plusieurs années et détectant de manière pertinente les changements d'usage sont privilégiés (les données produites avec une approche plus automatisée comme par exemple les *High Resolution Layers* ou *OSO* sont, pour le moment, écartées)

Tableau 129 : Caractéristiques des différents produits cartographiques utilisés pour le modèle multisource

Nom	Producteur	Millésimes	Site Web
-----	------------	------------	----------

Urban Atlas (changements) (U Ach)		2012-2018, 2006-2012 *	
Urban Atlas (UA)		2018, 2012	
Corine Land Cover (CLCch) (changements)	EEA/Copernicus	2012-2018, 2006-2012, 2000-2006, 1990-2000	<a href="https://land.copernicus.eu/paneuropean/corine-land-cover/">https://land.copernicus.eu/paneuropean/corine-land-cover/</a>
Natura 2000 (changements) (N2Kch)		2012-2018, 2006-2012 *	
Natura 2000 (N2K)		2018, 2012	
Base de données forêt (BDF)		*	<a href="https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/bdforet">https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/bdforet</a>
Registre parcellaire graphique (RPG)	IGN	2010 à 2021	<a href="https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/rpg">https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/rpg</a>
BDcarto		2018	<a href="https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/bdcarto">https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/bdcarto</a>
BDtopo (couche bâti et transport)		2021	<a href="https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/bdtopo">https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/bdtopo</a>
BDtopage	IGN-OFB	2022	<a href="https://www.sandre.eaufrance.fr/atlas/srv/fre/catalog.search#/metadata/82752235-2ddf-4b62-a82f-6ea276671f18">https://www.sandre.eaufrance.fr/atlas/srv/fre/catalog.search#/metadata/82752235-2ddf-4b62-a82f-6ea276671f18</a>

\*variable selon les régions

Ces données cartographiques ont été intersectées avec les centroïdes de ces mailles, avec leur classe initiale, dans leur système.

### Catégories/nomenclature

Les classes d'utilisation des terres issues des nomenclatures d'origine de chaque donnée sont mises en correspondance avec une nomenclature commune de catégories d'utilisation des terres adaptée aux besoins de l'inventaire. Une nomenclature détaillée en plusieurs niveaux a ainsi été construite de manière à faciliter les calculs des flux de carbone en tirant parti de la précision disponible dans les données sources, et à être compatible avec les catégories finales définies par les lignes directrices du Giec (2006). A noter que ces données ont pour la plupart une approche « occupation du sol » ou une approche mixte « occupation du sol - usage du sol ».

Tableau 130 : Nomenclature détaillée utilisée dans l'inventaire UTCATF de la France

Niveau 1 (usage général)	Niveau 2 (usage précis)	Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul	Correspondance catégorie Giec	
1 Agricole	10 Agricole à définir	100 Agricole indéfini	Terres cultivées	
	11 Cultures annuelles, légumes et fleurs	110 Cultures annuelles, légumes et fleurs indéfinies		
		11bh Blé tendre d'hiver		
		11bp Blé tendre de printemps		
		11dh Blé dur d'hiver		
		11dp Blé dur de printemps		
		11cz Colza		
		11ah Avoine d'hiver		
		11ap Avoine de printemps		
		11lf Légumes ou fleurs		
		11be Betterave industrielle		

			11cf	Choux, racines et tubercules fourragers			
			11ci	Autres cultures industrielles			
			11ls	Légumes secs			
			11mf	Maïs fourrage			
			11mg	Maïs grain			
			11oh	Orge d'hiver			
			11op	Orge de printemps			
			11xc	Autres céréales			
			11pf	Plantes à fibres			
			11pg	Pois protéagineux			
			11pm	Pomme de terre			
			11sh	Seigle d'hiver			
			11so	Sorgho			
			11sp	Seigle de printemps			
			11th	Triticale d'hiver			
			11to	Tournesol			
			11tp	Triticale de printemps			
			11xf	Autres fourrages annuels			
			11xo	Autres oléagineux			
			11xp	Autres protéagineux			
			12	Cultures permanentes		120	Cultures permanentes indéfinies
						12vi	Vignes
						12ol	Oliveraies
						12cq	Fruits à coque
						12af	Autres arbres fruitiers
						12cp	Autres cultures permanentes
			13	Prairies temporelles et jachères		130	Prairies temporaires et jachères indéfinies
						13pa	Prairies artificielles
13pt	Prairies temporaires						
13jh	Jachères						
14	Prairies permanentes	14pp	Prairies permanentes	Prairies			
2	Végétation naturelle et semi-naturelle	20	Végétation naturelle et semi-naturelle à définir	200	Végétation naturelle et semi-naturelle indéfinie	Terres forestières	
		21	Forêt	210	Forêt indéfinie		
				21ff	Forêt feuillus		
				21fc	Forêt conifères		
				21fm	Forêt mixte		
				21fp	Peupleraies		
				21mg	Mangroves		
		22	Végétation naturelle hors forêt	220	Végétation naturelle hors forêt indéfinie	Prairies	
				22bq	Bosquet		
				22la	Landes, clairières, broussailles		
				22mq	Maquis, garrigues		
		22pe	Alpages, pelouses naturelles				
		3	Artificiel	30	Artificiel à définir	300	Artificiel indéfini
31	Artificiel principalement bâti/revêtu			310	Artificiel principalement bâti/revêtu indéfini		
				31ba	Espaces entièrement artificiels (bâti, nus ou revêtus)		
				31bn	Espaces en partie artificiels bâtis, nus ou revêtus -		
32	Artificiel principalement végétalisé			320	Artificiel principalement végétalisé indéfini		
				32vh	Espaces végétalisés artificiels - herbe et buissonnant		
		32va	Espaces végétalisés artificiels - arborés				
4	Autres	40	Autres à définir	400	Autres indéfini	Autres terres	
		41		410	Zones humides et en eau indéfinies	Terres humides	

		Zones humides et en eau	41ea	Zone en eau naturelle (mer, océan, lac, rivière...)	
			41in	Zone inondée (artificiellement) - bassins, aquaculture, étang de pisciculture, zones de stockage de l'eau	
			41tb	Tourbières	
			41ms	Marais salants	
			41zh	Autres zones humides (roselières...)	
	42	Sols nus, et minéraux	420	Sols nus, minéraux indéfinis	Autres terres
			42sn	Sols nus, sables, rochers	
			42gl	Glaciers et neiges	

### Modèle d'intégration - module général

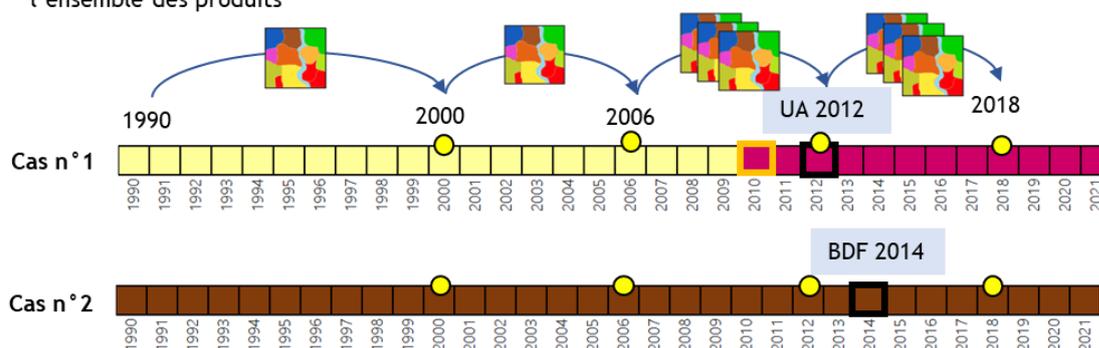
Le module général se base sur les données cartographiques (UA, N2K, CLC, RPG, BD Forêt, BD Carto...) et visent à identifier, pour chaque centroïde (centre d'une maille), l'usage de référence ; qui sera soit statique (même usage retenu pour toute la série temporelle) soit dynamique (si l'usage de référence provient d'un produit de changement, les changements sont appliqués). En cas de multiples changements détectés par plusieurs produits de changements ; des tests de cohérence temporelle sont appliqués. Cette première estimation des changements d'utilisation, basée sur les produits renseignant spécifiquement des polygones de changements, sous-estime certaines dynamiques.

Le concept général du protocole est d'intégrer, au sein d'un maillage des données hétérogènes d'utilisation des terres. L'objectif est de reconstituer de manière cohérente une série temporelle de l'évolution des terres, tout en évitant au maximum de présenter des faux changements, ou faux positifs, et en essayant autant que possible de limiter les faux négatifs, c'est-à-dire les conversions manquées. Cela est possible grâce à l'utilisation de produits cartographiques de changements. Les produits cartographiques de changements communiquent directement une information spatialisée sur un changement pour une période donnée (un polygone, avec un usage de départ et un usage d'arrivée). Leur utilisation limite le risque d'intégrer de faux changements.

Le module général vise à identifier pour chaque centroïde un usage de référence à partir de l'ensemble des données disponibles pour ce point. L'usage de référence est alors soit étendu à toute la période temporelle (centroïde statique, cas n°2 de la figure ci-dessous) soit modifié par des signaux indiqués par les produits de changement (cas n°1). Si de multiples changements sont détectés, des tests de cohérence temporelle sont appliqués.

### Etapas du modèle général appliquées à chaque centroïde

1. Intersection de chaque centroïde avec l'ensemble des produits



2. Détermination de l'usage de référence pour chaque centroïde (à partir des données disponibles pour ce point et la hiérarchie des produits)

3. Détection de changement par les produits de changements pour chaque sous-période (2012-2018 ; 2006-2012 ; 2000-2006 ; 1990-2000)

4. Application des changements, tirage au sort d'une année de changement au sein des sous-périodes

#### Légende

- xx Nom du produit retenu pour déterminer l'usage de référence
- Usage/année de référence pour ce centroïde
- Année de changement tirée au sort pour la sous-période lorsqu'un changement est détecté
- Vérification de la compatibilité de l'usage déjà renseigné avec un signal de changement
- Produit de changement

Figure 42: Schéma récapitulatif du protocole de création d'une série temporelle d'utilisation des terres (module général)

Le protocole agrège différents produits jugés pertinents pour déterminer l'usage de référence (BDF, RPG, UA, N2K, BDcarto). L'objectif est d'utiliser le produit thématique le plus efficace pour chaque situation (l'usage de référence est donné par le RPG quand l'usage est agricole, par la BD forêt quand l'usage est forestier, etc.). Comme tous ces produits ne donnent pas d'information pour la même année, les centroïdes peuvent avoir des années de référence différentes au sein du territoire (un centroïde peut avoir pour référence le RPG de 2016, et un autre la BDF de 2015). Pour attribuer l'usage de référence, une hiérarchie des produits a été établie afin de choisir l'usage jugé le plus fiable pour chaque centroïde. La hiérarchie ordonne les produits par ordre de préférence, sachant que pour chaque produit si plusieurs années sont disponibles l'année la plus récente est préférée.

Hiérarchie des produits utilisée : UAch\* > N2Kch\* > CLCch\* > BDF > RPG > UA > N2K > BDcarto

\*lorsqu'ils donnent un signal de changement

Les produits de changements sont placés en priorité dans la hiérarchie pour limiter les incompatibilités entre usage de référence et usages finaux et initiaux des signaux de changements.

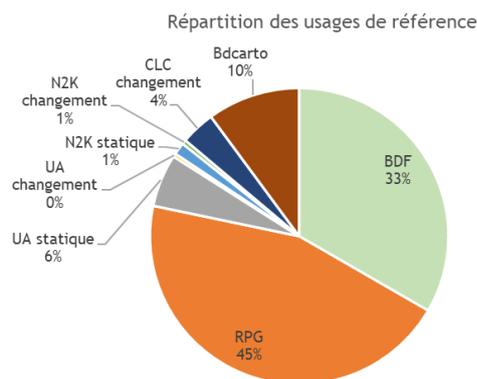


Figure 43 : Part des produits utilisés pour déterminer l'usage de référence des centroïdes après intersection et application de la hiérarchie des produits

Le protocole se base également sur un système de vérification de la compatibilité des occupations du sol, afin de maximiser la cohérence et la vraisemblance des séries temporelles construites par l'outil. Lorsqu'un produit de changement donne un signal pour un centroïde en 2006-2012 (c'est-à-dire quand un centroïde intersecte un polygone de changement pour la période), le changement est appliqué s'il est compatible avec l'usage déjà renseigné en 2012. Cela signifie que l'utilisation finale donnée par le polygone de changement doit être dans la même catégorie GIEC que l'usage déjà renseigné. Lorsque le changement est jugé compatible, l'usage de 2006 est alors rempli dans la série temporelle avec l'usage d'origine du polygone de changement. Puis, une année de changement est choisie au hasard entre 2006 et 2012, et les années intermédiaires sont remplies en conséquence. Le même processus est répété pour chaque période de changement. Avec cette méthodologie, seules les zones avec une probabilité forte d'avoir subi un changement d'usage réel sont comptabilisées en tant que changement.

Il arrive que plusieurs produits de changement donnent simultanément un signal, alors un arbre de décision est créé pour adopter ou non les changements et choisir lequel appliquer, suivant une hiérarchie générale des produits de changement (Urban atlas prévaut sur Natura2000 qui prévaut sur Corine Land Cover). Ces différentes hiérarchies ont été construites à partir de l'étude des résolutions spatiales et thématiques des différents produits. Le produit Urban Atlas étant en haut de la hiérarchie, s'il est disponible et qu'il détecte un changement, celui-ci sera directement appliqué. Pour les autres cas, des règles additionnelles ont été créées. Si Urban Atlas est disponible, mais ne détecte pas de changement, il a été décidé, plutôt que de classer directement le centroïde dans la catégorie « aucun changement », d'appliquer les changements de Natura 2000 s'il est disponible, ou en dernier recours ceux de Corine Land Cover. En effet, si Urban Atlas est très performant pour détecter les changements d'usage des terres concernant la catégorie terres artificialisées, il pourrait omettre des changements concernant d'autres catégories, couvertes par les autres produits. Après avoir vérifié que le potentiel changement N2K ou CLC ne concernait pas la catégorie Terres artificialisées, il peut donc être pris en compte. En revanche, si Urban Atlas n'est pas disponible, cette règle ne tient plus et on s'autorise l'utilisation de N2K ou CLC pour détecter des flux d'artificialisation. Seule une vérification de compatibilité est réalisée.

Cette première estimation des changements d'utilisation, basée sur les produits renseignant spécifiquement des polygones de changements, sous-estime certaines dynamiques. Des modules complémentaires ont été ajoutés.

#### Modèle d'intégration - module d'ajout de dynamiques

Des modules supplémentaires du modèle viennent compléter ces surfaces de changements, à l'aide de données spécifiques, pour trois dynamiques : les boisements et déboisements, l'artificialisation, et l'évolution des terres agricoles.

*Articulation des modules :*

1. Le modèle général renseigne un usage de référence pour tous les centroïdes, puis propose des changements d'usage pour certains centroïdes couverts par les produits de changement européens Copernicus.
2. Le module basé sur la BDtopage permet de requalifier des centroïdes en zones en eau, pour toute leur série temporelle ou en créant une dynamique de changement d'usage, seulement si le modèle général ne détecte pas de changement.
3. Le module forêt propose de nouveaux changements forestiers parmi les centroïdes stables dans le module général.
4. Le module artificialisation propose de nouveaux changements artificialisation parmi les centroïdes stables dans le module général, et dont les usages de référence ne sont pas renseignés par la BDF ou le RPG. Il requalifie également des mailles sur toute la série temporelle.
5. Le module rotation agricole propose pour tous les centroïdes dont l'usage est au moins une fois agricole une requalification des usages agricoles pour ajouter des rotations.

*Boisement et déboisement*

Un module sur les boisements et déboisements a été développé en complément au module général. Il part du constat que les résultats issus du module général donnaient des taux de boisement et déboisement, et notamment un taux de boisement net, inférieurs aux niveaux attendus lorsqu'on considère les résultats de TerUti (ancienne méthode statistique [1024]), mais aussi de l'IGN. Ce module se base sur la comparaison des deux éditions de la BD Forêt (voir plus bas).

Le code du module boisements-déboisements fonctionne de la manière suivante :

- Ce module compare les polygones forestiers des 2 éditions de la BDF disponibles pour chaque département, et produit des signaux de potentiels boisements (lorsqu'une zone est boisée dans la V2 et non boisée dans la V1) et de potentiels déboisements (lorsqu'une zone est non boisée dans la V1 et boisée dans la V1).
- Il s'accompagne ensuite d'une série de traitement pour filtrer ces signaux potentiels et conserver les plus vraisemblables, car une partie de ces signaux ne reflètent pas de véritables changements dans le paysage mais plutôt les différences de qualité entre V1 et V2. Pour les boisements, un premier traitement (a) est effectué pour empêcher la détection de faux boisements de faible surface qui sont dus à la différence de résolution spatiale entre les deux éditions. En effet, la BDFv2 détecte des plus petits polygones forestiers (inférieurs à 2.5 ha), qui ne doivent donc pas apparaître comme un réel boisement, car ils étaient certainement déjà existants mais non détectés par la version 1. Un autre traitement (b), corrige les effets de bords dus aux différences de tracés des polygones. Pour ce qui est des déboisements, les faux déboisements liés à la meilleure détection des chemins et routes au sein des zones forestières par la V2 sont corrigés, ainsi que des effets de bord comme décrits plus tôt.

*Artificialisation*

Un module sur l'artificialisation a été développé en complément au module général. Il part du constat, lui aussi, que les résultats issus du module général donnaient des taux d'artificialisation inférieurs à l'ancienne méthode et ceux de TerUti mais aussi à ceux d'autres données de référence tels que l'observatoire de l'artificialisation du Cerema (qui repart des fichiers fonciers). Ce module se base sur la cartographie des bâtiments et des infrastructures de transport et de leur date d'apparition dans la BD Topo de l'IGN (voir plus bas).

Le module artificialisation fonctionne de la manière suivante :

- A partir de la couche bâtiment de la BD topo de l'IGN, des aires urbaines (ou « tâches urbaines ») sont créées. Elles permettent de mieux détecter les petites zones construites qui n'étaient pas détectées par le modèle général, par exemple des zones rurales qui étaient principalement couvertes par la BD Carto. Des corrections sont alors effectuées dans les séries

temporelles en remplaçant l'usage par un usage bâti. La création des aires urbaines s'effectue sur Postgis avec l'application de buffers (ou tampons spatiaux) autour des bâtiments puis d'érosion.

- De plus, à partir du champ « date d'apparition » de la couche bâtiment utilisée, les polygones reconstitués par le protocole se voient attribuer une date d'artificialisation potentielle. Cela permet d'affecter un usage dynamique à un centroïde, en lui appliquant avant cette date l'usage du modèle général s'il n'est pas artificiel (l'usage Corine Land Cover 1990 sinon), et d'appliquer un usage artificiel après cette date.

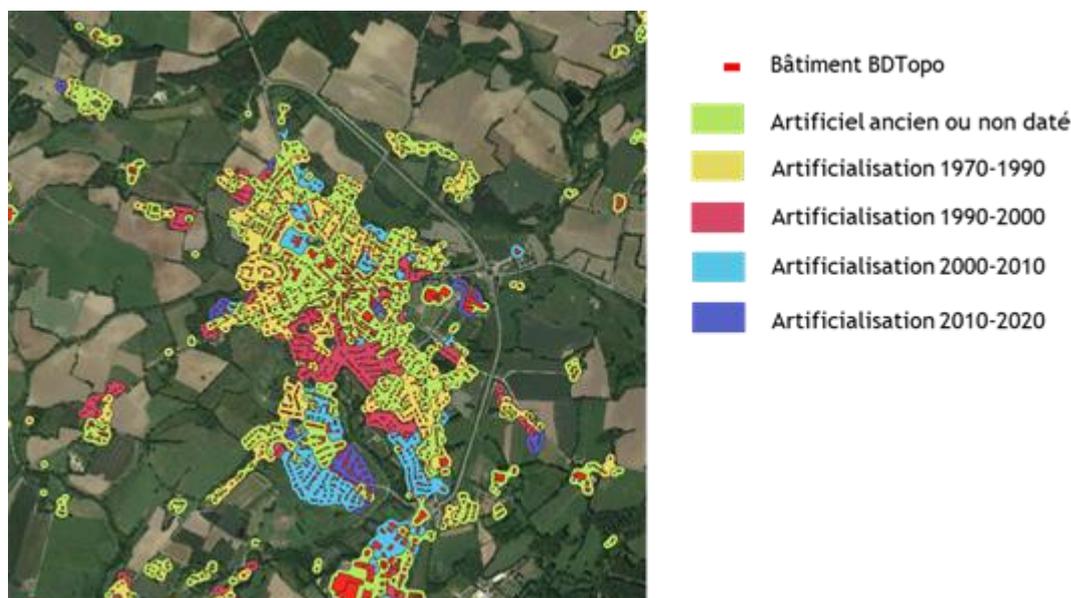


Figure 6 : Exemple de zone urbaine créée par le module artificialisation, et divisée en polygones par date d'artificialisation

Un process similaire est appliqué pour les infrastructures de transports. Les éléments linéaires de la BDtopo sont convertis en polygones avec l'utilisation de buffer dont la largeur dépend du type d'infrastructure. Puis, les centroïdes qui intersectent ces zones tampons sont reconvertis en usage artificiel sur toute leur série temporelle, ou à partir de leur date de construction.

#### Zones humides

Un module similaire au module artificialisation est créé pour requalifier des zones en eau ou zones humides non détectées par le modèle général, sur la base du produit BDtopage. Les centroïdes qui intersectent les polygones BDtopage supérieurs à 500 m<sup>2</sup>, et qui sont indiqués en eau de façon permanente, sont reconvertis en usage zone humide sur toute leur série temporelle, ou à partir de leur date de construction.

#### Dynamiques agricoles

Un module sur les terres agricoles a été développé en complément au module général. Il se justifie par la difficulté de distinguer prairies (temporaires, permanentes) et cultures - difficulté rencontrée avec TerUti dans l'inventaire pré 2022, ainsi qu'avec l'approche spatialement explicite basée sur des données mêlant *utilisation* et *occupation* du sol. L'idée est d'abord de considérer les terres agricoles comme un grand ensemble, afin de venir en deuxième temps estimer les cycles cultureux et notamment les alternances, la présence plus ou moins temporaires des prairies, plutôt que de distinguer d'emblée cultures et prairies comme deux usages différents, et ainsi détecter de trop nombreuses surfaces variant de l'un à l'autre. Ce module se base sur les données du RPG.

Le code du module des terres agricoles fonctionne de la manière suivante :

- De 2015 à 2021, les usages RPG annuels sont réaffectés à chaque centroïde agricole quand ils sont disponibles. Pour rappel, avec le modèle général, lorsqu'aucun produit de

changement ne donnait de signal et que le point était couvert par le RPG, l'usage RPG le plus récent détecté était conservé et appliqué sur toute la période. A présent, on réalloue les usages annuels de 2015 à 2021. Le RPG était disponible spatialement également pour les années 2010 à 2015 mais le produit n'étant pas exactement de même nature (nomenclature, etc.), il a été choisi de conserver les informations géographiques seulement pour ces années récentes.

- Pour les années plus anciennes, un travail statistique est réalisé pour proposer des usages historiques à chaque centroïde agricole, selon les rotations constatées à cette localisation entre 2015 et 2020, ainsi que sur la base des surfaces statistiques historiques (SAA) par type de culture. La calibration se fait par petite région agricole (PRA), afin de proposer des comportements cohérents pour les rotations.
- Les rotations sont modélisées à partir de chaînes de Markov, qui étudient les rotations 2015-2020 et proposent pour chaque PRA une probabilité de conversion d'un usage agricole à un autre (matrices de transition). Ces matrices sont calculées sous la contrainte des surfaces statistiques historique par type de culture.

Tableau 1 : Exemple de matrice de transition pour la création de rotations agricoles

	Céréales et oléagineux	Protéagineux	Prairie temporaire	Culture industrielle	Prairie permanente	Maraîchage, fleurs	Cultures permanentes	Autres usages
Céréales et oléagineux	85%	2%	5%	2%	3%	1%	0%	2%
Protéagineux	84%	4%	4%	0%	5%	0%	0%	2%
Prairie temporaire	3%	0%	96%	0%	0%	0%	0%	1%
Culture industrielle	84%	0%	2%	9%	0%	3%	0%	1%
Prairie permanente	15%	0%	9%	0%	74%	0%	0%	1%
Maraîchage, fleurs	24%	0%	2%	4%	0%	66%	1%	3%
Cultures permanentes	0%	0%	1%	0%	0%	0%	98%	1%
Autres usages	5%	0%	4%	0%	0%	0%	1%	90%

*Par exemple, une parcelle en céréales et oléagineux a ici 85% de probabilité de conserver la même occupation et 5% de probabilité de devenir une prairie temporaire.*

## Outil de visualisation cartographique

Un outil en ligne permet de visualiser, pour chaque maille et son centroïde, la catégorie d'usage retenue pour chaque année, et la donnée source ayant permis de faire ce choix. Il permet d'afficher côte à côte la même zone à deux dates différentes, ainsi que de faire des sélections de mailles par type de dynamique. Cet outil n'est pour l'instant pas diffusé.

L'information sur les usages et changements d'usage à la maille de 0,25 ha permet de cartographier facilement les dynamiques de conversion en les agrégeant à l'échelle souhaitée. Par exemple la carte ci-dessous met en évidence les zones artificialisées entre 1990 et 2020 par maille de 10\*10 km.

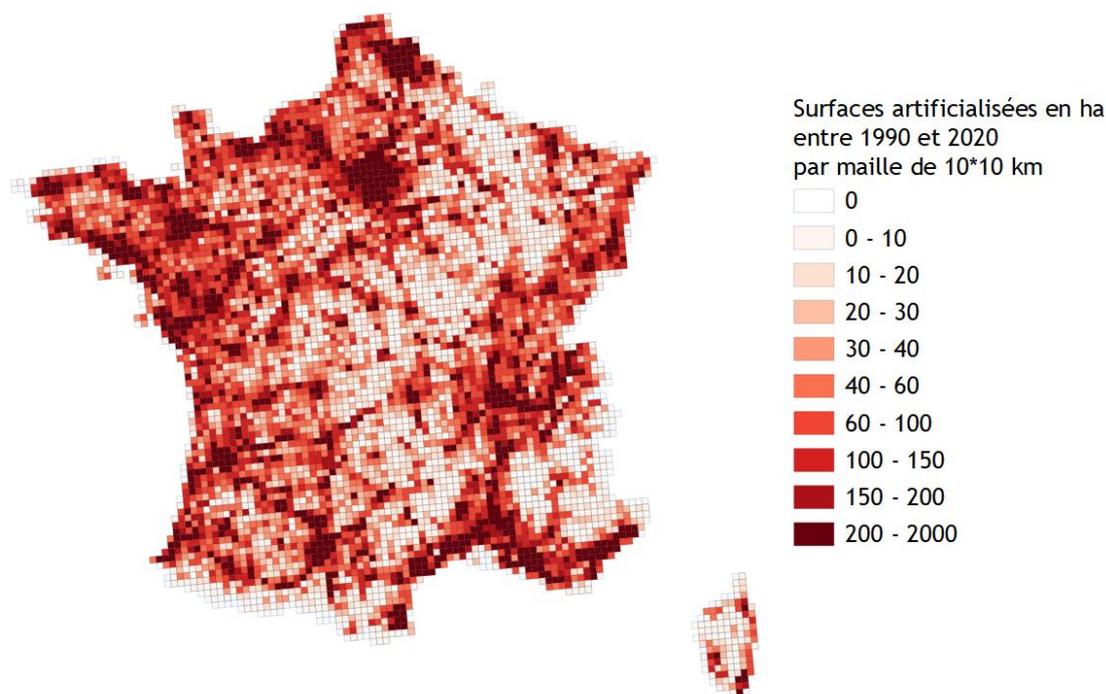


Figure 44 : Identification des zones avec un fort taux d'artificialisation à partir du modèle de suivi des terres par maille

### Extrapolation et construction des matrices

Enfin, ces estimations de surfaces annuelles sont extrapolées et complétées pour produire des matrices d'utilisation des terres complètes, cohérentes et répondant aux besoins de rapportage. Pour extrapoler et compléter les surfaces de changement d'usage, le calcul prend en compte, pour chaque département, les années non couvertes par les données de changement utilisées dans les modules d'intégration de données d'usage des terres, de manière à reconstituer les surfaces de changement manquées. Les surfaces sans changement sont estimées en cohérence avec ces surfaces de changement extrapolées et complétées. Cette étape est réalisée à un niveau agrégé, non spatialement explicite, de manière à couvrir toute la série temporelle en remontant à 1990 et aux changements entre 1970 et 1990. En effet, pour les périodes passées, les données cartographiques sont insuffisantes et il est nécessaire de recourir à une approche statistique pour reconstituer une série historique cohérente et éviter les effets de marche liés à une prise en compte différenciée des changements selon la période couverte.

Les matrices 20 ans, nécessaires au rapportage, sont construites à partir de ces séries temporelles annuelles. L'intégralité des matrices 1 an et 20 ans utilisées dans l'inventaire est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF\_Background.xlsx

Les données 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 et le rapportage des émissions/absorptions du secteur UTCATF :

- des matrices annuelles de changements pour évaluer les variations de surfaces mettant en jeu des phénomènes à cinétique rapide (déforestation),
  - des matrices couvrant une période de 20 ans pour les phénomènes dont la cinétique est plus lente (par ex : constitution des stocks de carbone du sol, des litières). Cette période de 20 ans correspond à la valeur par défaut du GIEC. Bien qu'elle ne soit pas idéalement adaptée aux cinétiques en milieu tempéré pour lesquelles la période serait plus proche de 50 ans, d'évidentes limites sur la disponibilité des données conduisent à retenir cette valeur.
-

Les années de 1970 à 1982 sont reportées ou interpolées sur la base des années les plus proches de manière avoir une série complète depuis 1970 jusqu'à l'année d'inventaire.

Les matrices nécessaires au calcul des émissions/absorptions du secteur UTCATF peuvent être élaborées en appliquant de manière itérative les taux annuels de changement d'utilisation à une année de référence (l'année 2007 a été choisie). Les matrices complètes de changement d'utilisation des terres sont ainsi conçues à partir des surfaces de l'année 2007 grâce aux équations suivantes illustrées par le schéma ci-après.

Équation 1 (UTCATF)

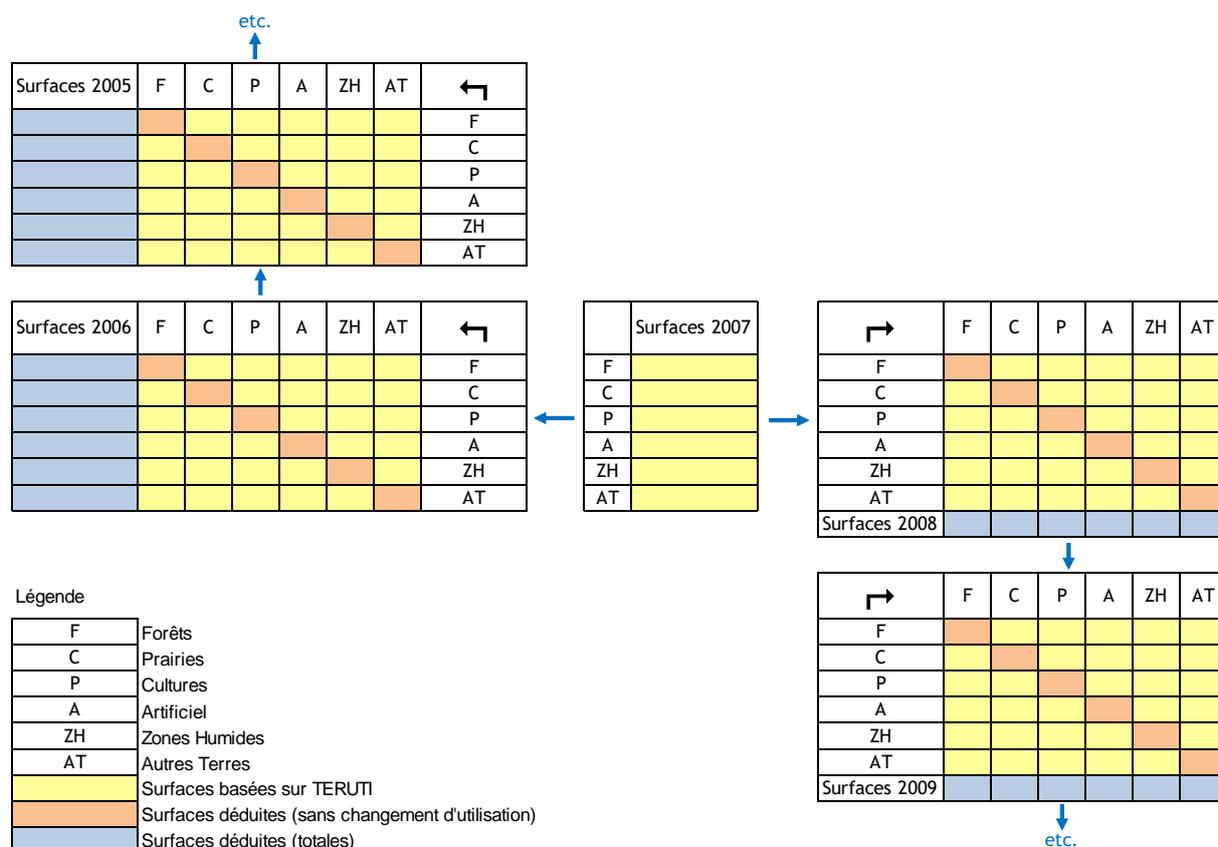
$$\text{Avant 2007 : } A_{i,a} = A_{i,a+1} - \sum_j [A\_Gains_{i,j,a}] + \sum_j [A\_Pertes_{i,j,a}]$$

$$\text{Après 2007 : } A_{i,a} = A_{i,a-1} + \sum_j [A\_Gains_{i,j,a}] - \sum_j [A\_Pertes_{i,j,a}]$$

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 131 : 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.

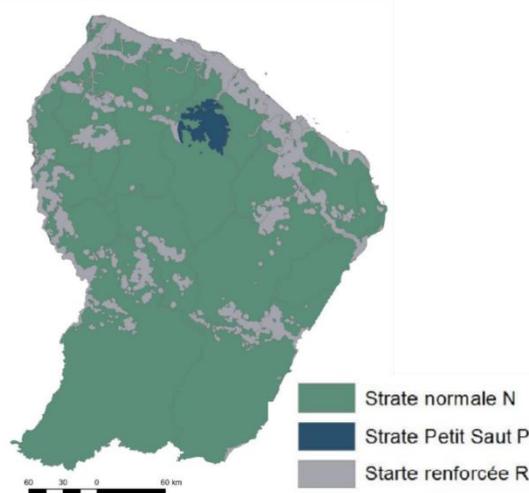
#### Méthode de construction des données d’occupation du sol de la Guyane avant 2012

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.

Figure 45 : 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 a les caractéristiques (taux de couvert et dimension des arbres la constituant) ; ii. les zones

<p>stratification de l'échantillonnage à l'aide de données auxiliaires.</p> <p>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.</p>	<p>d'orpaillage, ont été affectées à la classe « Infrastructure » qui inclut toutes les terres affectées par des aménagements humains quelles que soient leurs dimensions ; iii. la ligne de côte de la Guyane est soumise à des fluctuations temporaires très importantes de plusieurs centaines de mètres du fait des dépôts de sédiments et des phénomènes d'érosion. Aussi, une partie du territoire peut passer, dans le temps, des terres émergées à la mer et inversement. Afin de comptabiliser une surface constante du territoire entre 1989 et 2008, l'inventaire a porté sur les limites administratives de la Guyane selon la BD CARTO © IGN. Il en résulte que certains points de l'échantillon ont pu se situer dans la mer à une des deux dates. Les points tombant en mer ont été affectés à la catégorie d'utilisation du sol « Autres terres ».</p>
--	--

Tableau 132 : Représentativité d'un point d'enquête dans chaque strate [673]

	Strate		
	N	P	R
Surface (ha)	6 794 498	125 109	1 486 820
Dimension de la maille (m)	8 388 x 4 194	932 x 932	932 x 932
Effectif échantillon	1 926	1 443	17 130
Surface d'extension réelle d'un point	3 527,8	86,7	86,7

### Guadeloupe, Martinique et La Réunion

Pour la Guadeloupe [383] et la Réunion [385], des images issues du satellite SPOT, sont utilisées pour déterminer visuellement l'occupation du sol en 1990 sur l'emplacement des points d'échantillonnage de l'enquête TerUti-LUCAS, disponible à partir de 2005. Pour la Martinique, le fort ennuagement des images disponibles en 1990 rendaient la photo-interprétation impossible. A la place, les images issues de la mission de Prises de Vue Aérienne (PVA) de 1988, (date disponible la plus proche), ont été interprétées visuellement. La nomenclature du Giec est utilisée, en incluant la mangrove dans la catégorie Forêt car elle en a les caractéristiques (taux de couvert et dimension des arbres).

L'occupation de l'année 2008 est déterminée directement à partir des résultats de l'enquête TerUti-Lucas, en réaffectant les catégories de la nomenclature initiale vers les six catégories Giec, en cohérence avec la table de correspondances utilisée pour la 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 compatible.

### 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 133 : 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 134 : 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 135 : 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 136 : 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 137 : 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 138 : 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 139 : Matrice 1989-2009 produite sur la base de données ESA CCI-LC pour Saint Martin (ha)

		2009						TOTAL 1989
□		Forêt	Artificiel	Culture	Prairie	Zone humide	Autre	
1989	Forêt	2 396						2 396
	Artificiel		453					453
	Culture			151				151
	Prairie				1 511			1 511
	Zone humide					809		809
	Autre						0	0
TOTAL 2009		2 396	453	151	1 511	809	0	5 320

Les matrices annuelles, présentant les résultats détaillés par année et par territoire, sont fournies dans l'Annexe LULUCF\_Background.xlsx.

Suivi des terres dans les autres territoires d'Outre-mer (hors périmètre 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, tarodièrre...).

#### *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 :

<i>en ha</i>	Nouvelle-Calédonie	Wallis et Futuna	Polynésie	St-Pierre et Miquelon	Clipperton	TAAF	St-Barth.	Total
Forêt feuillue	602 595	10 190	50 391	0	0	0	600	663 776
Forêt résineux	0	452	6 096	3 000	0	0	0	9 548
Forêt mixte	114 000	0	195 276	0	0	0	0	309 276
Cultures	33 925	570	25 084	0	0	0	0	59 579
Prairies	999 150	0	0	3 630	0	0	600	1 003 380
Zones humides	6 613	61	0	7 260	7 200	0	0	21 134
Artificiel	23 863	1 321	25 084	1 210	0	0	960	52 438
Autres Terres	67 850	1 702	50 169	9 100	1 700	439 677	240	570 438
Total	1 847 995	14 296	352 100	24 200	8 900	439 677	2 400	2 689 568

L'intégralité des surfaces d'utilisation des terres et de changement d'utilisation des terres utilisées dans l'inventaire est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF\_background.xlsx.

## Méthodes d'estimation des réservoirs de carbone

L'inventaire UTCATF de la France estime les flux de gaz à effet de serre entre tous les réservoirs de carbone définis par les lignes directrices du Giec.

Contexte : lignes directrices du Giec

Pour l'inventaire UTCATF il est demandé d'estimer l'ensemble des flux de carbone intervenant entre différents réservoirs de carbone afin d'estimer les flux de CO<sub>2</sub> 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 :

$\Delta C$  = Variation de stock de carbone du réservoir, t C/an

$A$  = Surface de la terre, ha

$ijk$  = Indices correspondant au 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  $t_1$ , t C

$Ct_2$  = Stock de carbone à l'instant  $t_2$ , t C

Dans l'inventaire français, l'une et l'autre des méthodes sont utilisées en fonction de la disponibilité des données et de l'importance des flux en question.

## Méthode appliquée en Métropole

Les calculs des flux de carbone sont effectués, en partie à l'échelle de la maille, en partie à échelle régionale (22 anciennes régions administratives).

Les calculs réalisés à l'échelle de la maille de 0,25ha se basent sur l'évolution des stocks de carbone (modèle de variation de stock à la maille) pour les 10 compartiments suivants :

Tableau 140 : Compartiments carbone pris en compte

Grand compartiment	statut	catégorie	type	strate	code	
biomasse	vivante	ligneuse	forêt	aérien	lb_f_a	n
				racinaire	lb_f_r	n
		culture pérenne	aérien	lb_cp_a	n	
			racinaire	lb_cp_r	n	
	herbacée	culture annuelle	aérien & racinaire	lb_ca	n	
		herbe	aérien & racinaire	lb_hh	n	
	morte (DOM)	bois mort		dw	n	
		litière		lt	n	
sol		minéraux		s_min	n	
		organiques		s_org	n	

DOM : dead organic matter (matière organique morte)

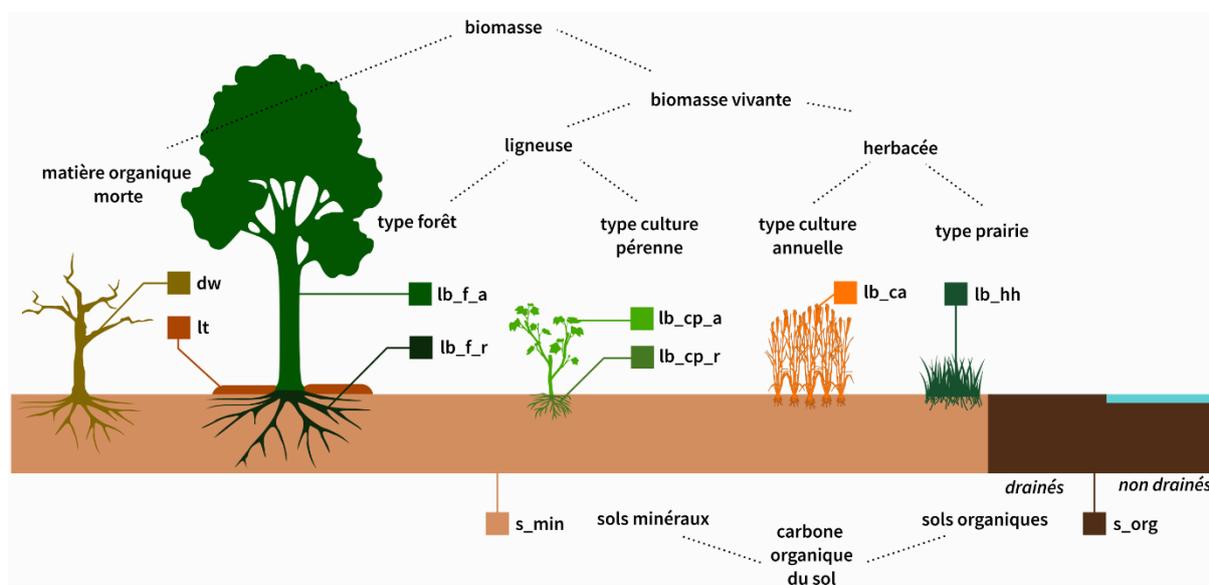


Figure 46 : Présentation schématique des différents compartiments carbone considérés pour le calcul

Des stocks de carbone de référence sont renseignés pour toutes les catégories d'utilisation des terres de la nomenclature pour tous les compartiments listés ci-dessus. Ils dépendent des zones pédoclimatiques pour les sols, des sylvoécocorégions pour la biomasse type forêt et le bois mort, des grandes régions écologiques (GRECO) pour la litière, ou sont des stocks nationaux pour les autres compartiments. Pour les sols ils dépendent également des pratiques culturales et sont donc redéfinis annuellement.

Les stocks de chaque centroïde pour chaque compartiment sont initialisés en 1990. Puis, pour chaque année de leur série temporelle, leur stock hérité (stock de l'année précédente) est comparé à leur nouveau stock de référence. Si celui-ci diffère, par exemple si l'utilisation du sol a été modifiée, les stocks de carbone de chaque compartiment tendent vers leur nouveau stock de référence et les flux associés sont retenus pour l'année en question. La vitesse d'atteinte du nouveau stock de référence est bornée : les flux de pertes ou de gains maximum sont définis pour chaque utilisation du sol. Ils sont calibrés pour que la conversion se réalise si le centroïde reste effectivement 20 ans dans la catégorie finale d'utilisation des terres de la conversion dans la majorité des cas, ou pour perdre le stock rapidement (en 1 an ou 5 ans) pour des défrichements ou de l'artificialisation par exemple. Les vitesses de constitution des stocks en forêt pour la biomasse vivante de type forêt et pour le bois mort sont fixés à 40 ans (par hypothèse).

Equation 4 (UTCATF) : Routine de calcul du modèle de variation de stock par maille :

Initialisation en 1990 :  $stock_{1990} = stock_{ref_{1990}}$

Puis pour chaque année :

Si  $stock_{ref_n} = stock_{herite_n}$  alors  $stock_n = stock_{herite_n}$

Si  $stock_{ref_n} < stock_{herite_n}$  alors  $stock_n = \max(stock_{ref_n}, stock_{herite_n} - pertes_n)$

Si  $stock_{ref_n} > stock_{herite_n}$  alors  $stock_n = \min(stock_{ref_n}, stock_{herite_n} + gains_n)$

Et  $flux_n = stock_n - stock_{n-1}$

Tableau 141 : Illustration de la routine de calcul du modèle de variation de stock par maille.

Présentation de stock et flux relatifs au compartiment litière pour une maille agricole en 1990 devenant forêt en 1992, puis artificialisée en 2013 (cas fictif). Les valeurs sont données pour une maille et non à l'hectare.

Année	Catégorie d'usage	Gains max (tC/an)	Pertes max (tC/an)	Stock référence (stock_ref tC)	Stock hérité (tC)	Stock (tC)	Flux (tC/an)
1990	11bh	0	2.50	0		0	0
1991	11bh	0	2.50	0	0	0	0
1992	21ff	0.11	0	2.25tC	0	$\text{Min}(2.25 ; 0 + 0.11) = 0.11$	0.11
1993	21ff	0.11	0	2.25 tC	0.11	$\text{Min}(2.25 ; 0.11 + 0.11) = 0.22$	0.11
(...)							
2011	21ff	0.11	0	2.25 tC	2.14	$\text{Min}(2.25 ; 2.14 + 0.11) = 2.25$	0.11
2012	21ff	0.11	0	2.25 tC	2.25	2.25	0
2013	31bn	0	2.50	0	2.25	$\text{Max}(0 ; 2.25 - 2.50) = 0$	- 2.25

Les gains et les pertes ont été calibrés pour chaque catégorie d'usage pour refléter les dynamiques de conversion. Ils sont décrits pour chaque compartiment dans les parties suivantes. La plupart du temps ils sont calculés pour qu'une conversion entre deux stocks de référence prenne 20 années. C'est le cas par exemple pour la litière (exemple du tableau, le stock de litière en forêt est atteint au bout de 20 ans). En revanche, pour les défrichements (compartiment biomasse, bois mort, litière) par exemple, les durées sont calibrées plus courtes et les flux de pertes sont très élevés, afin de faire perdre la totalité du stock en une année.

Cette méthode permet pour une maille qui changerait d'usage plusieurs fois de ne pas forcément atteindre le premier stock cible. Par exemple, une culture convertie en forêt puis artificialisée au bout de 5 ans ne perdra pas la totalité d'un stock forestier, mais bien seulement le stock qui aura été constitué pendant ces 5 ans.

#### Méthode appliquée pour les Outre-Mer

Le modèle à la maille n'existe pas hors métropole faute de données relatives au suivi géographique des surfaces de changement d'utilisation de terres. Une méthode de calcul plus classique est appliquée pour les conversions (type équation 3 présentée dans l'encadré en début de partie). Les données utilisées pour les stocks relatifs aux différents compartiments

#### Biomasse vivante aérienne et souterraine

#### Définitions

Afin de ne pas négliger les pertes de biomasse lors des changements d'usages des terres, par exemple la perte de la biomasse des vergers convertis en forêts, différents types de biomasse sont pris en compte dans le modèle de variation de stock de carbone à la maille :

Tableau 142 : Rappel des types de biomasse pris en compte pour le calcul

Grand compartiment	statut	catégorie	type	strate	code
biomasse	vivante	ligneuse	forêt	aérien	lb_f_a
				racinaire	lb_f_r
			culture pérenne	aérien	lb_cp_a
			racinaire	lb_cp_r	
		herbacée	culture annuelle	aérien & racinaire	lb_ca
			herbe	aérien & racinaire	lb_hh

La biomasse vivante aérienne que l'on appelle de type « forêt » se compose des parties aériennes des essences arborées recensables (diamètre > 7,5 cm à la hauteur de 1,3 m). Cela exclut les essences ligneuses du sous-bois et les arbres sous le seuil de recensabilité. La biomasse vivante aérienne de type forêt est l'un des réservoirs clé du secteur UTCATF. Elle peut constituer des stocks très importants et peut fluctuer de manière rapide en fonction de la gestion associée.

La biomasse aérienne des prairies arbustives et des zones arborées hors forêt (zones artificielles arborées) est également classée de « type forêt ». Les successions possibles entre prairies arbustives et forêt (enfrichement), ainsi que la proximité possible entre les classes de nomenclature ont justifié ce choix. Si un changement d'usage est réalisé au sein de ces classes de nomenclature, le modèle de variation à la maille considèrera seulement le gain ou la perte de stock lors de la transition, mais sans passer par une perte de toute la biomasse.

En revanche, lors de la conversion d'une classe « vignes » à une classe « forêt », il faut tenir compte de la perte de toute la biomasse des vignes lors de l'arrachage, puis de la repousse d'un autre type de biomasse. C'est pourquoi la biomasse vivante, dite de « type cultures permanentes » est considérée à part.

Pour la biomasse ligneuse type forêt et type culture pérennes, la biomasse vivante aérienne est distinguée de la biomasse vivante souterraine. La biomasse vivante souterraine inclut l'ensemble des racines à l'exception des racines fines déjà prises en compte dans la litière et le carbone organique du sol.

Hors métropole, il n'y a pas de distinction entre les différents types de biomasse, car le modèle de variation de stock à la maille n'est pas utilisé.

## Données

### Biomasse vivante en Outre-Mer (sans distinction entre types de biomasse)

Pour estimer les émissions liées aux défrichements des valeurs de stocks forestiers moyens perdus lors de défrichements sont utilisées en Outre-Mer. Il ne s'agit pas des stocks moyens en forêt mais des stocks perdus lors d'un défrichement.

Tableau 143 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante aérienne (peuplements forestiers)

Périmètre	Région	Feuillus	Mixte	Résineux	Peupliers	Source de données
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

Aucune donnée spécifique à la biomasse racinaire n'est utilisée. La fraction souterraine de la biomasse vivante est estimée indirectement à partir de la fraction aérienne, à l'aide de facteurs d'expansion racinaire de l'ONF [386].

Les valeurs obtenues avec les facteurs d'expansion sont indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 144 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante racinaire (peuplements forestiers)

Périmètre	Région	Feuillus	Mixte	Résineux	Peupliers	Source de données
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

En Outre-mer, le stock de biomasse vivante pour les zones non forestières est estimé à partir du Giec (2006) :

- En culture : 10 tC/ha (Giec, 2006, Table 5.9)
- En prairie : 16,1 tMS/ha (2006, Table 6.4) \* 0.5 (tC/tMS) = 7.6 tC/ha

Ces valeurs sont utilisées pour les territoires d’Outre-Mer sauf pour la Réunion, où la valeur de stock de biomasse forestière est tellement basse (5 tC/ha, tableau 63) que les stocks hors forêt sont estimés à 0. Pour rappel, il n’y a pas de distinction entre type de biomasse pour l’Outre-Mer, les données ci-dessous correspondent donc à la fois à de la biomasse ligneuse et herbacée.

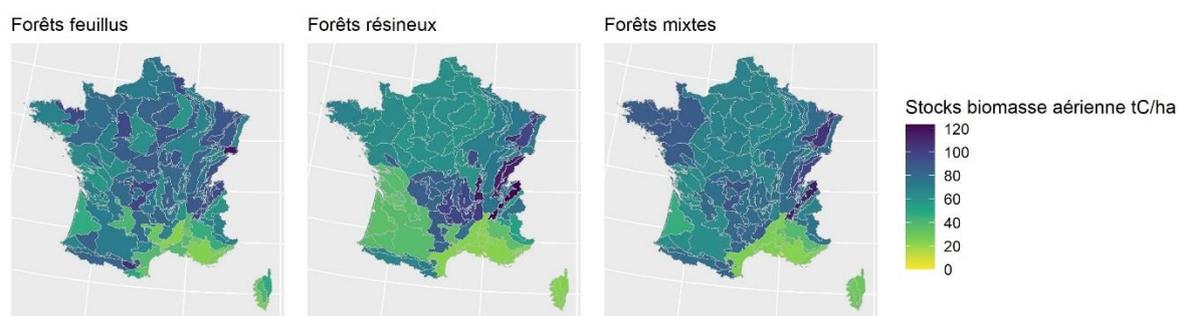
Tableau 145 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante aérienne hors forêt (Outre-Mer)

	Culture	Prairie boisée	Prairie non boisée	Zone urbanisée	Zone humide	Source de données
Guyane	10	7,6	7,6	0	0	Giec 2006
Guadeloupe	10	7,6	7,6	0	0	Giec 2006
Martinique	10	7,6	7,6	0	0	Giec 2006
Réunion	0	0	0	0	0	hypothèse
Mayotte	10	7,6	7,6	0	0	Giec 2006

Les flux de carbone (croissance, mortalité, prélèvements) en biomasse hors forêt pour les terres sans changement sont estimés à l’équilibre en Outre-mer (voir section 2.1.1.1).

#### Biomasse vivante ligneuse « type forêt » (métropole)

Dans l’inventaire français, la majorité des informations relatives à la biomasse vivante aérienne de type forêt, en zone forestière, provient de l’inventaire forestier national réalisé par l’IGN. Les stocks de biomasse vivante aérienne par sylvoécotérritoires en forêt fournis par l’IGN pour la campagne 2016-2020 sont utilisés [594], par type de peuplement (résineux, feuillus, mixte). Lorsque le stock moyen par hectare n’est pas significatif, le stock de la grande région écologique (GRECO) est retenu.



Lorsque le stock par sylvoécotérritoire n’est pas significatif, le stock est égal au stock de la GRECO.

Figure 47 : Stocks de carbone (tC/ha) en biomasse vivante aérienne de type forêt pour les principaux types de peuplements par sylvoécotérritoire (Source : Citepa à partir des données IGN campagne 2016-2020 [594])

Aucune donnée spécifique à la biomasse racinaire de type forêt n’est utilisée. La fraction souterraine de la biomasse vivante est estimée indirectement à partir de la fraction

aérienne, à l'aide de facteurs d'expansion racinaire provenant de l'étude Carbofor [204] pour la métropole (voir détails dans la partie 4A\_Forestland).

Des stocks de biomasse de type forêt peuvent également être non nuls dans des terres non forestières. Ce sont les catégories d'utilisation des terres 12cp, 200, 210, 220, 22bq, 320, 32va. Par défaut il est considéré que les stocks pour ces terres sont égaux aux stocks des forêts mixtes de la même sylvoécologie. Les stocks des maquis sont issus de l'étude Medinet [993], soit 7,8 tC/ha. Pour la catégorie landes, intermédiaire par définition entre une prairie et une zone arbustive, les stocks sont fixés à la moitié du stock de maquis.

L'ensemble des stocks à l'hectare aériens et racinaires, ainsi que les flux de gains (accroissement) et pertes de chaque catégorie d'usage pour la métropole sont résumés dans le tableau suivant. Ils permettent d'alimenter le modèle de calcul de variation de stock à la maille décrit plus haut.

Les pertes sont calibrées pour perdre l'intégralité de la biomasse en 1 an lors d'une conversion (défrichement). Pour les peuplements forestiers ou les catégories assimilées à la catégorie forêt mixtes, les gains sont fixés pour atteindre le stock de référence en 40 ans. Pour les catégories d'usage non forestières (maquis, landes), la valeur d'accroissement de l'étude Medinet [993] calibrée sur 20 ans est utilisée.

Tableau 146 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment biomasse vivante type forêt (métropole)

Catégorie d'usage	Stock aérien (tC/ha)	Stock racinaire (tC/ha)	Gains aériens (tC/ha/an)	Gains souterrains (tC/ha/an)	Pertes aérienne (tC/ha/an)	Pertes racinaire (tC/ha/an)	Source de données
21fc	62 [21 ; 126]	14 [5 ; 29]	1,2 [0,4 ; 2,4]	0,4 [0,1 ; 0,7]	0	0	IGN campagne 2016-2020 [594] et hypothèses de flux
21ff	71 [20 ; 127]	12 [3 ; 21]	1,1 [0,3 ; 1,9]	0,3 [0,1 ; 0,5]	0	0	
21fm	70 [21 ; 120]	13 [4 ; 23]	1,1 [0,4 ; 2]	0,3 [0,1 ; 0,6]	0	0	
21fp	80	16	1,4	0,4	0	0	
22mq	8	11	0,4	0,5	200	50	Medinet (schrublands) [993]
22la	4	6	0,2	0,3	200	50	50% du stock des maquis Medinet (schrublands) [993]
12cp, 200, 210, 220, 22bq, 320, 32va			Assimilé à forêt mixte (21fm)				Estimation : égal aux données de forêt mixte
Autres catégories	0	0	0	0	200	50	Par défaut

Pour les catégories forestières, les valeurs moyennes sont indiquées, puis entre crochets la valeur minimale et la valeur maximale. Pour rappel, elles diffèrent par sylvo-écologie.

En plus des flux de carbone issus du modèle de variation de stock à la maille, des flux seront appliqués via la méthode des flux pour la forêt restant forêt. L'IGN fournit ainsi ces données de flux, en tonnes de carbone, pour la production, la mortalité, et les prélèvements en forêt. Ces données sont présentées dans la section forêt (section § 2.2.2). Elles sont disponibles par interrégion et ne sont pas utilisées directement pour le modèle de flux de carbone à la maille. Elles seront prises en compte dans les totaux des flux en forêt restant forêt, à l'échelle des 22 anciennes régions administratives.

Les flux de carbone (croissance, mortalité, prélèvements) en biomasse hors forêt pour les terres sans changement sont estimés à l'équilibre en métropole (voir section 2.1.1.1).

#### Biomasse vivante ligneuse type cultures pérennes (métropole)

Pour les cultures pérennes et ligneuses (vergers, vignes), l'étude Medinet [993] est de nouveau utilisée pour déterminer les stocks aériens et racinaires, ainsi que l'accroissement (gains) pour ces catégories d'usage des terres. Ces gains correspondent à l'atteinte du stock de référence en 20 ans.

Les pertes sont calibrées pour perdre l'intégralité de la biomasse en 1 an lors d'une conversion (défrichage, arrachage).

Tableau 147 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment biomasse vivante type cultures pérennes (métropole)

Catégorie d'usage	Stock aérien (tC/ha)	Stock racinaire (tC/ha)	Gains aérienne (tC/ha/an)	Pertes aérienne (tC/ha/an)	Gains racinaire (tC/ha/an)	Pertes racinaire (tC/ha/an)	Source de données
120	2,75	2,2	0,14	20	0,11	10	Estimation : stocks moyens des cultures pérennes
12af	8,5	5,8	0,43	20	0,29	10	Medinet [993], table 27 & 30
12cp	0	0	0	20	0	10	Catégorie contenant: taillis à courte rotation, forêts exploitées pour porcs etc. : la biomasse est qualifiée de type forêt (voir table biomasse associée) .
12cq	8,5	5,8	0,43	20	0,29	10	Estimation : égal au stock des arbres fruitiers
12ol	9,1	2,6	0,46	20	0,13	10	Medinet, table 27.
12vi	5,5	4,4	0,28	20	0,22	10	Medinet, table 27.
Autres catégories	0	0	0	20	0	10	Par défaut

#### Biomasse vivante herbacée type cultures annuelle et type herbe (métropole)

La biomasse herbacée est prise en compte, en différenciant la biomasse en cultures annuelles (blé, maïs...), des autres types de biomasse herbacées (appelés type « autres » ou type « herbe »). Ce sont les herbacées en prairies, zones artificielles, forêt, et toutes les autres catégories. Les gains et les pertes sont calibrés pour avoir lieu de façon annuelle, si on a une conversion entre culture et prairie, toute la biomasse type culture est perdue, et toute la biomasse type prairie est gagnée en 1 an.

Les stocks sont estimés à partir des données de production agricoles du SSP [410] utilisés pour les calculs du secteur Agriculture. Les données utilisées sont des stocks moyens de l'année de production (la moitié du stock récolté). Pour les catégories intermédiaires et les autres catégories, des estimations relatives au taux de couvert de la strate herbacée ont été réalisées. Pour les forêts par exemple, on considère 10% de couvert du stock en prairies. L'ensemble des stocks et flux associés aux différentes catégories sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 148 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment biomasse vivante herbacée (type cultures annuelles et type herbe) (métropole)

Catégorie d'usage	Biomasse vivante herbacée type cultures annuelles		Biomasse vivante herbacée type herbe		Source de données
	Stock (tC/ha)	Gains/Pertes (tC/ha)	Stock (tC/ha)	Gains/Pertes (tC/ha)	
Cultures annuelles (codes 11xx)	3,6	3,6	0,0	6,30	SSP [410] ou estimation liée au couvert supposé de la strate herbacée pour la catégorie
Cultures permanentes (codes 12xx)	0,0	3,6	0,0	6,30	
Prairies non permanentes et jachères (codes 13xx)	3,6	3,6	0,0	6,30	
14pp	0,0	3,6	6,3	6,30	
Forêts (codes 21xx)	0,0	3,6	0,2	6,30	
220	0,0	3,6	1,0	6,30	
22bq	0,0	3,6	0,2	6,30	
22la	0,0	3,6	1,0	6,30	
22mq	0,0	3,6	0,5	6,30	

22pe	0,0	3,6	1,6	6,30
300	0,0	3,6	0,0	6,30
310	0,0	3,6	0,0	6,30
31ba	0,0	3,6	0,0	6,30
31bn	0,0	3,6	2,1	6,30
320	0,0	3,6	4,2	6,30
32va	0,0	3,6	6,3	6,30
32vh	0,0	3,6	0,2	6,30
400	0,0	3,6	0,0	6,30
410	0,0	3,6	0,0	6,30
41ea	0,0	3,6	0,0	6,30
41in	0,0	3,6	0,0	6,30
41tb	0,0	3,6	6,3	6,30
41ms	0,0	3,6	0,0	6,30
41zh	0,0	3,6	6,3	6,30
Autres terres (codes 42xx)	0,0	3,6	0,0	6,30

### *Biomasse vivante des haies (métropole)*

Les haies ne sont pas considérées comme une catégorie d'usage des terres mais comme un compartiment carbone (un type de biomasse), pouvant se retrouver dans différentes catégories d'usage (en cultures, en prairies...).

### *Suivi du linéaire*

Avant l'utilisation du suivi des terres spatialement explicite, le linéaire de haies était suivi par l'enquête TerUti du SSP [1025], en tant que type d'usage des terres spécifique. Il n'est pour l'instant pas possible de proposer une méthode spatialement explicite pour étudier l'évolution du linéaire de haies, fautes de millésimes exploitables. Trois sous-périodes de l'enquête TerUti ont été exploitées pour proposer un suivi de la biomasse en haies (1982-1989 ; 1993-2003 ; 2007-2015). Elles sont traitées séparément car des évolutions méthodologiques les rendent difficilement comparables.

Un taux moyen d'apparition de haies (en ha/an), et de disparition de haies est déduit pour chaque sous-période, en culture, en prairie, et dans les autres catégories d'usage des terres, et ce par ancienne région administrative. Certains types de conversions ont été filtrés pour limiter les faux-changements, par exemple les conversions forêts-haies. Des rythmes de reculs nets du linéaire de de 6400 ha/an pendant les années 1990, 2960 ha/an pendant les années 2000 et enfin 5265 ha/an au début des années 2010 sont obtenus.

### *Estimation des stocks*

Les stocks de carbone dans la biomasse sont ensuite estimés à partir d'une étude de l'IGN relative aux haies bocagères [1274]. Les stocks fournis sont en tC/km de haies. Une conversion en stocks par hectare est réalisée grâce à des valeurs de largeurs de haies moyennes estimées via la comparaison entre les surfaces Teruti et les linéaires en km de l'étude. Les stocks retenus varient entre 34 et 52 tC/ha, aérien et racinaire compris selon les régions.

### *Déduction des flux*

L'estimation des gains et pertes de carbone liés à l'évolution du linéaire est faite uniquement pour la biomasse. Il n'y a pas de prise en compte de la variation de stocks dans le compartiment sol. Le stock est estimé gagné en 20 ans, et perdu en 1 an.

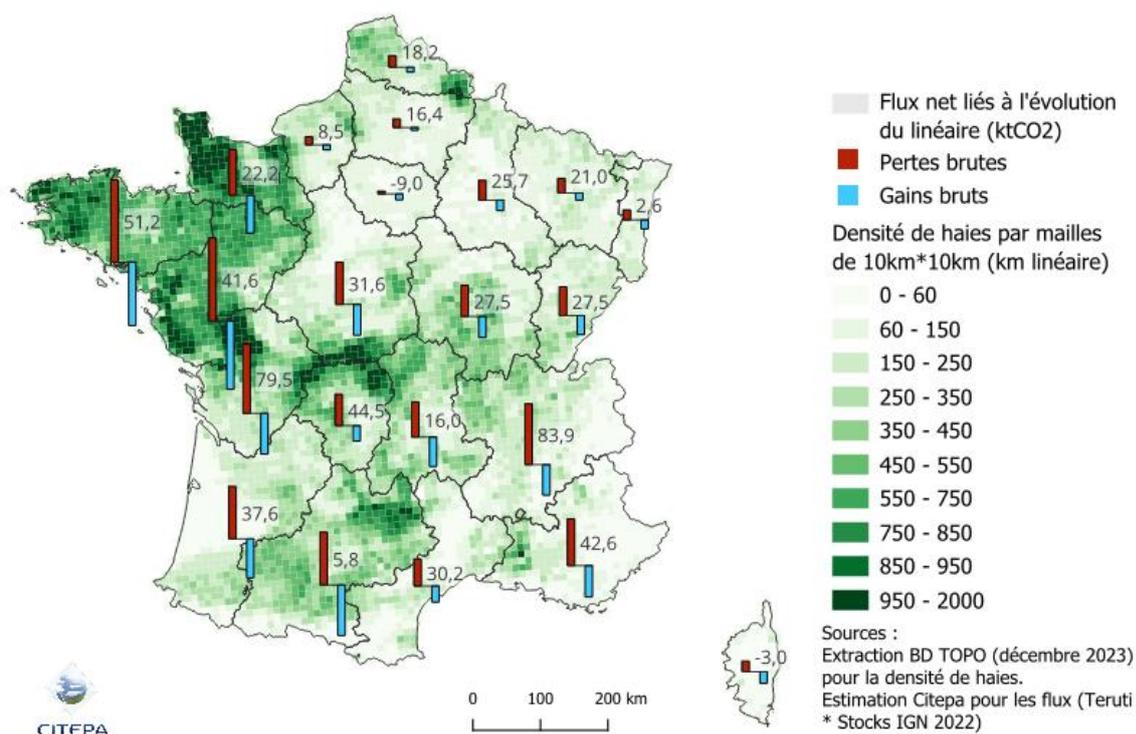


Figure 48 : Résultats méthode Citepa haies, flux moyens pour la période inventaire (1990-2022)

## Bois mort

### Définition

On considère trois origines au bois mort : la mortalité naturelle des arbres sur pied, la mortalité exceptionnelle en cas de tempêtes (chablis) et l'abandon des résidus de récolte de bois lors de l'exploitation des parcelles forestières. La création ou la disparition d'un stock de bois mort lors d'un boisement ou d'un déboisement est aussi comptabilisée.

### Données

Les données de l'IGN [202] de mesures des stocks de bois mort, combiné à une estimation de leur date de mortalité permettent d'estimer la mortalité des arbres sur pied en forêt en Métropole. Le bois mort reste principalement, d'après l'IGN, lié à la compétition (élagage naturel) et non à la sylviculture. Aucune donnée n'est mobilisée pour les flux de mortalité de l'Outre-Mer.

Les données de l'IGN ont permis de quantifier la mortalité exceptionnelle liée aux tempêtes de 1999 et 2009 qui ont modifié fortement les stocks de bois mort en forêt.

Le Guide du Giec [1996 5.31 ; 2006 [672] ch.4 encadré 4.2, valeur par défaut pour les feuillus] permet d'estimer à 10% la part de la biomasse aérienne récoltée qui est abandonnée sur le site d'exploitation. Cette valeur a été jugée pertinente par les experts forestiers français.

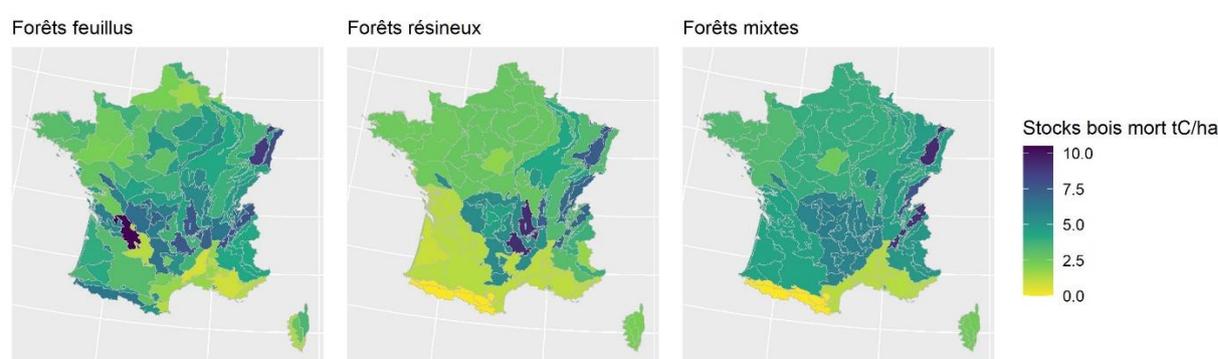
Les stocks de bois mort, utilisés pour estimer la création ou la disparition d'un stock de bois mort lors d'un boisement ou d'un déboisement sont les stocks fournis par la campagne IGN 2016-2020 [594] par sylvoécocorégion. Lorsque le stock de la sylvoécocorégion n'est pas significatif, le stock de la GRECO (grande région écologique) est utilisé. Ces valeurs seront

les valeurs de référence utilisées pour le module de variation de stock à la maille. En Guyane et dans les autres territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE, ce stock de bois mort est estimé de manière spécifique grâce aux études des données dendrométriques [328, 386].

Tableau 149 : Stocks de carbone (tC/ha) dans le bois mort des terres forestières

Périmètre	Région	Feuillus	Mixte	Résineux	Peupliers	Source de données
France métropolitaine		variable selon les sylvoécotérrégions (voir carte)				[206]
Outre-mer inclus dans le Protocole de Kyoto (5 régions)	Guyane	8,8	n.d	n.d	n.d	[328]
	Guadeloupe	1,2	n.d	n.d	n.d	[386]
	Martinique	1,2	n.d	n.d	n.d	[386]
	Réunion	0,1	n.d	n.d	n.d	[386]
	Mayotte	1,9	n.d	n.d	n.d	[386]
Autres territoires		n.d	n.d	n.d	n.d	

n.d : non déterminé



Lorsque le stock par sylvoécotérrégion n'est pas significatif, le stock est égal au stock de la GRECO.

Figure 49: Stocks bois mort (tC/ha) pour les principaux types de peuplements par sylvoécotérrégion (Source : Citepa à partir des données IGN campagne 2016-2020 [594])

L'ensemble des stocks à l'hectare, ainsi que les flux de gains (constitution du stock de bois mort) et pertes de chaque catégorie d'usage pour la métropole sont résumés dans le tableau suivant. Ils permettent d'alimenter le modèle de calcul de variation de stock à la maille. Les pertes sont calibrées pour perdre l'intégralité du bois mort en 1 an lors d'une conversion (défrichage). Pour les peuplements forestiers ou les catégories assimilées à la catégorie forêt mixtes, les gains sont fixés pour atteindre le stock de référence en 40 ans (par hypothèse).

Tableau 150 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment bois mort (métropole)

Catégorie d'usage	Stock (tC/ha)	Gains (tC/ha/an)	Pertes (tC/ha/an)	Source de données
21fc	3 [0 ; 9]	0,07 [0 ; 0,23]	0	IGN campagne 2016-2020 [594]
21ff	4 [1 ; 11]	0,1 [0,02 ; 0,26]	0	
21fm	4 [0 ; 9]	0,1 [0 ; 0,23]	0	
21fp	3 [3 ; 3]	0,06 [0,06 ; 0,06]	0	
12cp, 200, 210, 220, 22bq, 320, 32va	Estimation : égal aux données de forêt mixte			
Autres catégories	0	0	50	Par défaut

Pour les catégories forestières, les valeurs moyennes sont indiquées, puis entre crochets la valeur minimale et la valeur maximale. Pour rappel, elles diffèrent par sylvo-écotérrégion.

## Litière [lt]

## Définition

La litière forestière est constituée : des branches mortes au sol de diamètre inférieur au seuil de recensabilité de l'IFN (donc exclues du réservoir bois mort) ; des couches humiques et fumiennes et des feuilles mortes (exclues du réservoir sol) ; des petites racines (exclues du réservoir biomasse vivante souterraine).

## Données

Les stocks ont été estimés à partir des valeurs Renecofor [1275]. Des valeurs de stock par hectare pour différents types d'essences sont proposés (une valeur unique pour les feuillus de 5,7 tC/ha, puis des valeurs de 6,1 à 25,4 tC/ha pour diverses essences de résineux).

Tableau 151: Stocks de carbone dans les couches holorganiques (réseau de mesure Renecofor)

essences	couches holorganiques (tC/ha)
chênes	5,7
hêtre	5,7
épicéa commun	16,1
sapin pectiné	7,3
douglas	10,7
pins	25,4
mélèze d'Europe	6,1

A partir des surfaces de chaque type d'essence par grande région écologique (GRECO) de l'IGN, et de ces valeurs de stocks par essences, un stock typique par GRECO est proposé pour les catégories d'usage forêt feuillus (21ff), forêt mixte (21fm) et forêt de résineux (21fc) (cf. carte ci-dessous).

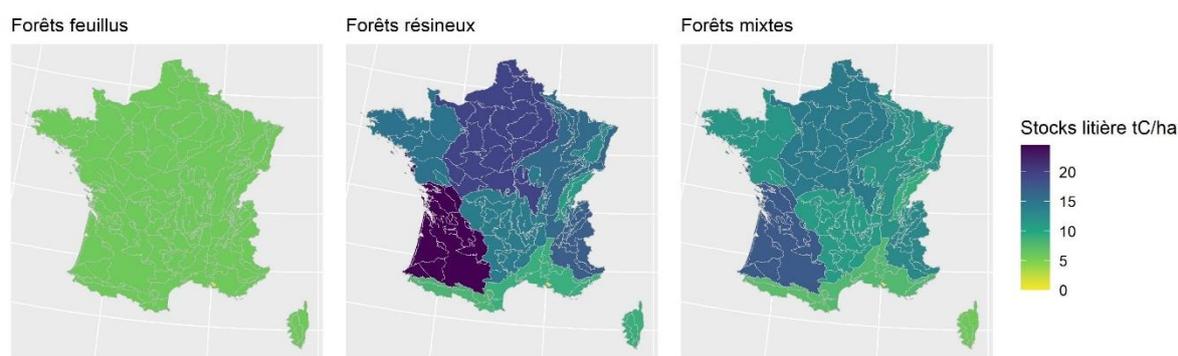


Figure 50 : Stocks litière (tC/ha) pour les principaux types de peuplements par sylvoécocorégion (Source : stocks par essence Renecofor [1275] et surfaces par type d'essence IGN campagne 2018-2022 [594])

Dans les cas où il y a une absence de données statistiquement significatives pour les surfaces par type d'essence, une donnée de stock moyen est utilisée. Elle est issue de l'étude

Dupouey et al. (1999) [206], « le stock total des sols forestiers est de (...) 79 tC/ha. [...]. La litière comprend 11 % de ce stock [...] », soit une valeur de 9 tC/ha.

$$79 \text{ tC/ha} * 11\% = 8,7 \text{ tC/ha} \approx 9 \text{ tC/ha.}$$

En Guyane, le stock de litière est estimé par l'ONF [328, p.22] d'après les travaux de Puig et al. (1988) [997] à 2 tC/ha.

$$4,203 \text{ tMS/ha} * 0,5\text{tC/tMS} = 2,1 \text{ tC/ha} \approx 2 \text{ tC/ha.}$$

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 152 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la litière des terres forestières

Périmètre	Région	Feuillus	Mixte	Résineux	Peupliers	Source de données
France métropolitaine		5,7	variable selon GRECO (voir carte)		5,7	[206],[1275]
Outre-mer inclus dans le Protocole de Kyoto (5 régions)	Guyane	2,0	n.d	n.d	n.d	[328]
	Guadeloupe	1,2	n.d	n.d	n.d	[386]
	Martinique	0,7	n.d	n.d	n.d	[386]
	Réunion	0,1	n.d	n.d	n.d	[386]
	Mayotte	0,9	n.d	n.d	n.d	[386]
Autres territoires		n.d	n.d	n.d	n.d	

n.d : non déterminé

Les stocks à l'hectare, ainsi que les flux de gains (constitution du stock de litière) et pertes de chaque catégorie d'usage pour la métropole sont résumés dans le tableau suivant. Ils permettent d'alimenter le modèle de calcul de variation de stock à la maille. Les pertes sont calibrées pour perdre l'intégralité de la litière en 1 an lors d'une conversion (défrichage). Pour les peuplements forestiers ou les catégories assimilées à la catégorie forêt mixtes, les gains sont fixés pour atteindre le stock de référence en 20 ans.

Tableau 153 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment litière (métropole)

Catégorie d'usage	Stock (tC/ha)	Gains (tC/ha/an)	Pertes (tC/ha/an)	Source de données
Forêts feuillus (21ff)	5,7	0,3	0	Renecofor [1275]
Peupleraies (21fp)	5,7	0,3	0	Par défaut
Forêt résineux (21fc)	14,3 [8,1 ; 24,5]	0,7 [0,4 ; 1,2]	0	Renecofor modulé par surfaces de peuplement par GRECO [1275]
Forêts mixtes et catégories assimilées (21fm, 12cp, 200, 210, 220, 22bq, 320, 32ba)	11 [5,7 ; 17,6]	0,5 [0,3 ; 0,9]	0	Renecofor modulé par surfaces de peuplement par GRECO [1275]
Autres catégories	0	0	10	Par défaut

Pour les catégories forestières, les valeurs moyennes sont indiquées, puis entre crochets la valeur minimale et la valeur maximale. Pour rappel, elles diffèrent par GRECO (grande région écologique).

## Carbone du sol [s-min]

### 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 Géographiques 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 Géographiques des Sols d'Europe au 1/1 000 000, réalisée en plusieurs étapes (correction, numérisation, harmonisation, structuration) entre 1974 et 1998 (en partie par l'Inra, à partir de la typologie internationale des sols proposée par la FAO. Cette terminologie a été adaptée pour prendre en compte des spécificités européennes. Chaque type de sol identifié a été groupé au sein d'unités paysagère, dont la délimitation a fait appel à des jugements d'experts plutôt qu'à des mesures. Parmi les champs descriptifs des sols, on trouve la texture dominante. Cette information est utilisée dans l'inventaire comme critère de définition d'un zonage pédologique (voir § 1.2.5.3.3).

### *Données sur les sols en Outre-mer*

En Outre-mer, des estimations spécifiques sur les stocks de carbone du sol sont disponibles grâce aux études de l'ONF, aussi utilisées pour la biomasse [328, 386].

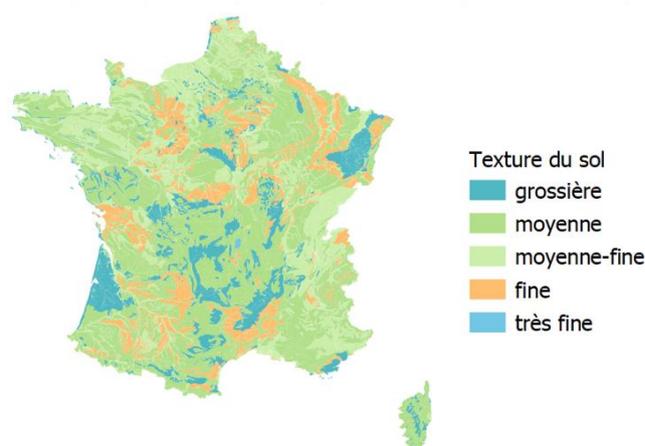


Figure 51 : Cartographie des zones pédologiques (basée sur la texture des sols) complétée [719]

### *Carte des zones climatiques (JRC)*

Le JRC a réalisé une cartographie des zones climatiques [722] en Europe pour l'ensemble des Etats-membres de l'Union européenne, pour les aider à améliorer leur méthodologie

des inventaires, selon la classification Giec (2006), en prenant en compte divers paramètres : température, précipitation, potentiel d'évapotranspiration, relief. La carte pour la France réalisée dans ce cadre a été simplifiée par le Citepa avec un critère surfacique de manière à supprimer les pixels ou groupes de pixels isolés. Ainsi, les zones « frais tempéré sec » et « polaire humide » (quelques pixels en haute montagne) ont été intégrées à des ensembles plus larges.

L'utilisation d'une carte des climats plus récente (Giec 2019) a été étudiée. Cependant, l'analyse des stocks de référence issu du RMQS (2000-2009) par zone pédoclimatique se basant sur la carte du Giec 2006, il n'a pas été jugé pertinent de mettre à jour ces zones pour l'instant.

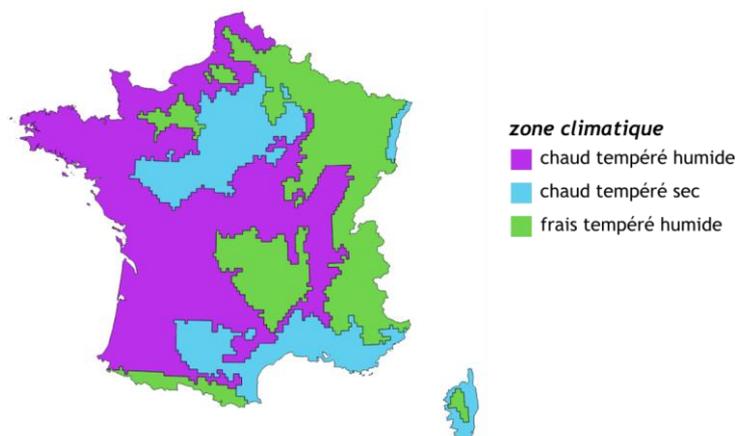


Figure 52 : Cartographie des zones climatiques [722]

## Méthode

### Equation générale

Pour estimer la variation de stock de carbone organique du sol pour les sols minéraux, une méthode de variation de stock par maille semblable à celle décrite pour tous les autres compartiments est utilisée. Cependant, le stock de référence de la maille est modulé non seulement par l'usage des terres, mais également par les pratiques culturales associées. Ce stock change donc annuellement, cette routine de calcul va donc créer des flux à la fois pour les terres restant dans la même catégorie d'utilisation (en prairies ou en cultures), que pour des terres changeant d'usage. La correction du stock de référence par des facteurs d'ajustement s'approche de la méthode générique du Giec [672]. En revanche, le mode de calcul s'effectue à la maille, et ne s'applique plus aux surfaces de conversion sur 20 ans. Les flux qui définissent la vitesse de transition d'une maille vers son stock de référence dans le modèle sont calibrés sur 20 ans, à l'exception de l'artificialisation des sols, pour laquelle la vitesse de dégradation du stock est calibrée sur 5 ans.

Tableau 154 : Flux appliqués aux différentes catégories d'usage dans le modèle de variation par mailles

Catégorie d'usage	Gains (tC/ha/an)	Pertes (tc/ha/an)
Tous les sols agricoles et forestiers	1,22	1,22
Sols artificiels non végétalisés (300, 310, 31ba, 31bn)	1,50	9,72
41tb et 41zh	3,09	0,00

Autres zones humides et autres terres (400, 410, 420, 41ea, 41in, 42gl, 42sn)	0	3,16
---	---	------

Équation 4 (UTCATF)  
 inspirée de l'équation 2.25 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta C_{\text{Minéraux}} = \text{COS}_n - \text{COS}_{(n-1)}$$

$$\text{COS} = \text{COS}_{\text{REF}} \times F_{\text{UT}} \times F_{\text{RG}} \times F_{\text{A}}$$

Avec :

$\Delta C_{\text{Minéraux}}$  = Variation annuelle du stock de carbone du compartiment sol pour une maille, tC/an

$\text{COS}$  = Stock de carbone du sol l'année d'inventaire, tC

$\text{COS}_{\text{REF}}$  = Stock de carbone de référence, tC/ha

$F_{\text{UT}}$  = Facteur de variation de stock lié à l'utilisation des terres

$F_{\text{RG}}$  = Facteur de variation de stock lié au régime de gestion (travail du sol principalement)

$F_{\text{A}}$  = Facteur de variation de stock lié aux apports (organiques principalement)

### Stocks de carbone de référence ( $\text{COS}_{\text{REF}}$ )

Les stocks de carbone du sol de référence ( $\text{COS}_{\text{REF}}$ ) correspondent aux stocks de carbone natifs, sous végétation indigène. Afin de conserver les facteurs de variation de stock liés à l'utilisation des terres égaux à 1 (Giec 2019) pour les usages forêts et prairies, le stock de référence est déterminé à partir des stocks RMQS en prairie et en forêt pour chaque zone pédoclimatique. Les  $\text{COS}_{\text{REF}}$  utilisés correspondent donc à la moyenne des stocks médians observés sous forêt et sous prairies, pondérés par le nombre de relevés RMQS dans chacune des catégories [424] pour la métropole. Pour l'Outre-Mer, des valeurs données par l'ONF sont utilisées [328, 386].

### Méthode de construction des zones pédoclimatiques par le Citepa

Ces zones pédoclimatiques ont été définies selon les principes du GIEC [672], en croisant :

- la cartographie des types de sols [719] distinguant 5 niveaux de texture (1 = grossière ; 2 = moyenne ; 3 = moyenne fine ; 4 = fine ; 5 = très fine) (§1.2.5.2.2)
- la cartographie des zones climatiques [722] distinguant 3 types de climats (1 = chaud tempéré humide ; 2 = chaud tempéré sec ; 3 = frais tempéré humide) (§1.2.5.2.3)

En croisant ces trois cartes, une cartographie avec 15 zones pédoclimatiques, redécoupées par région administrative, a donc été construite :

Figure 53 : Cartographie des zones pédoclimatiques

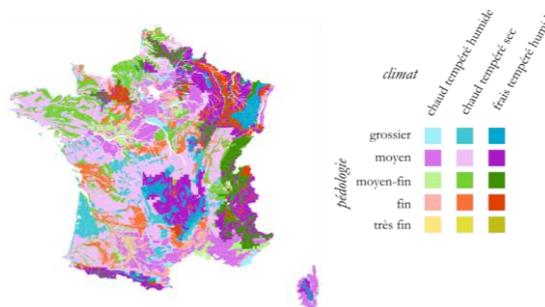


Tableau 155 : Stocks de carbone de référence pour les sols par région ou zone pédoclimatique

Périmètre	Région ou zone pédoclimatique	tC/ha	Pédologie (texture)	Climat	Source
France métropolitaine (22 régions)	1_1	70,5	grossière	chaud tempéré humide	Réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS)
	1_2	47,6	grossière	chaud tempéré sec	
	1_3	86,5	grossière	frais tempéré humide	

	2_1	65,2	moyenne	chaud tempéré humide	[424]
	2_2	72,5	moyenne	chaud tempéré sec	
	2_3	84,8	moyenne	frais tempéré humide	
	3_1	71,5	moyenne-fine	chaud tempéré humide	
	3_2	58,8	moyenne-fine	chaud tempéré sec	
	3_3	94,8	moyenne-fine	frais tempéré humide	
	4_1	83,5	fine	chaud tempéré humide	
	4_2	64,0	fine	chaud tempéré sec	
	4_3	84,5	fine	frais tempéré humide	
Outre-mer inclus dans 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		

Pour les zones humides, le RMQS donne la valeur de 125 tC/ha mais sans détail par zones pédoclimatique à cause du faible nombre de relevés. Cette valeur sera utilisée pour toutes les zones humides, sans appliquer de facteur de variation  $F_{UT}$ . Pour les zones artificialisées et les « autres terres », le RMQS ne dispose pas de mesures représentatives. Pour les sols urbains (sols nus et revêtus, enherbés, arborés), des valeurs spécifiques de stock de carbone issues de la littérature scientifique sont utilisées [721]. Aucun stock spécifique n'est pris en compte pour les « autres terres » (roches, sable, etc.).

#### *Facteur de variation de stock lié à l'utilisation des terres (FUT)*

Le paramètre  $F_{UT}$  est issu du raffinement 2019 du Giec [1229], et varie selon la zone climatique dans laquelle se trouve la maille. Les forêts et les prairies ont un facteur égal à 1. Les types d'usages corrigés sont les cultures annuelles, les cultures pérennes et les jachères. Pour rappel, les stocks de zones humides, zones artificielles et autres terres sont donnés directement (voir partie précédente), et n'applique pas d'ajustement par les facteurs  $F_{UT}$ ,  $F_{Rg}$  et  $F_A$ .

Tableau 156 : Facteurs d'ajustement liés à l'utilisation des terres par type d'usage et zone climatique (Giec 2019)

Type de facteur	Descriptif	Zone climatique	Facteur	Erreur
$F_{UT}$	cultures annuelles	chaud tempéré humide	0,69	16%
		chaud tempéré sec	0,76	12%
		frais tempéré humide	0,7	12%
	cultures pérennes	chaud tempéré humide	0,72	22%
		chaud tempéré sec	0,72	22%
		frais tempéré humide	0,72	22%
	jachères	chaud tempéré humide	0,82	17%
		chaud tempéré sec	0,93	11%
		frais tempéré humide	0,82	17%
	prairie	chaud tempéré humide	1	
		chaud tempéré sec	1	
		frais tempéré humide	1	

#### *Facteurs de variation liés à la gestion (FRG) et aux apports (FA)*

Les données de pratiques culturales qui déterminent le régime et gestion et les apports sont détaillés dans les parties relatives aux cultures et aux prairies.

Les paramètres  $F_{Rg}$  et  $F_A$  sont issus du raffinement 2019 du Giec [1229], et varient selon la zone climatique dans laquelle se trouve la maille.

Tableau 157: Facteurs d'ajustement liés au régime de gestion et aux apports par zone climatique (Giec 2019)

Type de facteur	Descriptif	Zone climatique	Facteur	Erreur
F <sub>Rg</sub>	Labour (avec retournement du sol)	chaud tempéré humide	1	
		chaud tempéré sec	1	
		frais tempéré humide	1	
	TCS (travail profond sans retournement, travail superficiel)	chaud tempéré humide	1,05	4%
		chaud tempéré sec	0,99	3%
		frais tempéré humide	1,04	4%
	Semis direct	chaud tempéré humide	1,1	4%
		chaud tempéré sec	1,04	3%
		frais tempéré humide	1,09	4%
	Prairies non dégradées	chaud tempéré humide	1	
		chaud tempéré sec	1	
		frais tempéré humide	1	
	Prairies surpâturées	chaud tempéré humide	0,9	8%
		chaud tempéré sec	0,9	8%
		frais tempéré humide	0,9	8%
	Prairies sévèrement dégradées	chaud tempéré humide	0,7	40%
		chaud tempéré sec	0,7	40%
		frais tempéré humide	0,7	40%
	Prairies améliorées	chaud tempéré humide	1,14	11%
		chaud tempéré sec	1,14	11%
		frais tempéré humide	1,14	11%
Faibles	chaud tempéré humide	0,92	14%	
	chaud tempéré sec	0,95	13%	
	frais tempéré humide	0,92	14%	
Moyens	chaud tempéré humide	1		
	chaud tempéré sec	1		
	frais tempéré humide	1		
Elevés sans fumier	chaud tempéré humide	1,11	10%	
	chaud tempéré sec	1,04	13%	
	frais tempéré humide	1,11	10%	
Elevés avec fumier	chaud tempéré humide	1,44	13%	
	chaud tempéré sec	1,37	12%	
	frais tempéré humide	1,44	13%	
Prairies améliorées avec apports moyens	chaud tempéré humide	1		
	chaud tempéré sec	1		
	frais tempéré humide	1		
Prairies améliorées avec apports élevés	chaud tempéré humide	1,11	7%	
	chaud tempéré sec	1,11	7%	
	frais tempéré humide	1,11	7%	

### 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 158 : 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

Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

**Emissions de CO<sub>2</sub>, de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O**

Voir les différentes sous-parties dédiées aux types de terres.

Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

Emissions de NO<sub>x</sub> et CO et autres substances

Voir les différentes sous-parties dédiées aux types de terres.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
18/01/2024	MJ	16/02/2024	EM

## TERRES FORESTIERES (FORESTLAND)

Cette section concerne les émissions/absorptions par les forêts gérées. Deux types de forêt sont distingués : les forêts établies depuis plus de 20 ans (forêts restant forêts) et les forêts issues d'un changement d'usage de la terre sur la période de 20 ans précédant l'année d'inventaire considérée (terres devenant forêts).

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	4A
CEE-NU / NFR	NFR mémo hors total national
SNAPc (extension CITEPA)	11.11.04 à 11.12.15, 11.31.01 à 11.31.16, 11.03.01 et 11.03.02
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Surfaces	Données spécifiques nationales

### Niveau de méthode :

Se référer à la section UTCATF-Général - Description du secteur.

### Références utilisées :

- [17] EMEP / CORINAIR Guidebook
- [66] EPA - AP42. Janvier 1995
- [92] CITEPA - PAJOT K., GABORIT G. FONTELLE J-P. - Estimation annuelle des émissions de COVM des sources biotiques dans la basse atmosphère en France (modèle COBRA) - Mai 2003
- [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
- [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
- [204] GICC 2001 - Gestion des impacts du changement climatique, rapport CARBOFOR, juin 2004

- [294] GUENTHER A-B - Seasonal and spatial variation in natural volatile organic compound emissions. *Ecological Application*, 1997, vol. 7, pp 34-45
- [297] PROMETHEE - Base de données sur les incendies en zone méditerranéenne sur [www.promethee.com](http://www.promethee.com)
- [298] Ministère de l'Agriculture (MAP), Dossier de presse « Prévention des incendies de forêt », [www.agriculture.gouv.fr](http://www.agriculture.gouv.fr)
- [493] IFN/FCBA/SOLAGRO - Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020, Novembre 2009
- [533] IGN - Communication personnelle, septembre 2012
- [534] ONF - Communication personnelle, septembre 2012
- [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
- [598] AFOCEL - CTBA - Communication personnelle
- [602] Jonard M., Caignet I., Ponette Q., Nicolas M., 2013 : Evolution du carbone des sols forestiers de France métropolitaine - Détection et quantification à partir des données mesurées sur le réseau RENECOFOR, Rapport préliminaire du 29/04/2013, 31p. ONF - Université de Louvain
- [672] GIEC 2006 - Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, Vol. 4.
- [724] SDIS 974, 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
- [725] Feux de végétation - d'après l'état-major de la zone de défense de Guyane
- [726] Orientations Forestières du Département de Mayotte Préfigurant le Programme de la Forêt et du Bois du Département de Mayotte, 2015.
- [795] SIMPSON D. Inventorying emissions from nature in Europe. *Journal of Geophysical Research*. 1999
- [802] Clement and Tashiro (1991). Forest fires as a source of PCDD and PCDF. 11th International Symposium on Chlorinated dioxins and related compounds, 1991
- [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.
- [994] Roux A., Dhôte J.-F. (Coordinateurs), Achat D., Bastick C., Colin A., Bailly A., Bastien J.-C., Berthelot A., Bréda N., Caurla S., Carnus J.-M., Gardiner B., Jactel H., Leban J.-M., Lobianco A., Loustau D., Meredieu C., Marçais B., Martel S., Moisy C., Pâques L., Picart-Deshors D., Rigolot E., Saint-André L., 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. Rapport d'étude pour le Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, INRA et IGN, 101 p. + 230 p. (annexes).
- [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
- [1205] DONNEE Surfaces potentiellement brûlées MODIS Quasi-Temps réel (MCD14DL)  
<https://geoportail.oeil.nc/geoportal/catalog/>
- [1270] Maaf, Ecofor, 2018. Indicateurs de gestion durable des forêts françaises ultramarines de la  
Martinique / Guyane / Guadeloupe, édition 2015
- [1276] Mouillot et al., 2006. Global Carbon Emissions from biomass burning in 20th century. Geophysical Research Letters 33(1).

## Caractéristiques de la catégorie (uniquement pour le NIR) :

### Définitions

#### Définition de « terres forestières » et sous-catégories

En application des accords de Marrakech de 2001 [189], la France retient, pour sa définition de la forêt, les valeurs minimales suivantes :

	Couverture du sol par les houppiers d'essences ligneuses	Superficie	Hauteur des arbres à maturité	Largeur
<i>Seuil</i>	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 2005, FRA 2010, FRA 2015, FRA 2020.

Tableau 159 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Terres Forestières

Niveau 1 (usage général)		Niveau 2 (usage précis)		Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul	
2	Végétation naturelle et semi-naturelle	21	Forêt	210	Forêt indéfinie
				21ff	Forêt feuillus
				21fc	Forêt conifères
				21fm	Forêt mixte
				21fp	Peupleraies
				21mg	Mangroves

#### Définitions de « Gestion forestière » et « Forêt gérée »

En France, l'ensemble du territoire est considéré géré quelle que soit la catégorie d'utilisation des terres (voir partie LULUCF générique).

Une forêt est gérée au sens de la CCNUCC lorsqu'elle fait l'objet d'opérations de gestion forestière visant à administrer ses fonctions écologiques, économiques et sociales. Le terme « opération de gestion forestière » recouvre les actions de coupes ou de travaux forestiers mais également les actions de planification forestière, d'accueil du public en forêt ou de protection des écosystèmes forestiers.

En application de cette définition, la totalité des surfaces forestières (métropole et outre-mer) est considérée gérée. Certaines forêts sont peu ou pas exploitées d'un point de vue sylvicole, mais sont gérées, par exemple sous le régime des Parcs Naturels Nationaux.

#### Définitions de « terres forestières restant terres forestières » et « terres devenant terres forestières »

La catégorie des terres forestières restant terres forestières est une catégorie utilisée pour le rapportage. Elle correspond, par convention, aux surfaces classées en dans la catégorie « Forêt » l'année N et l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec). Dans les faits, cela inclut des terres qui ont pu changer d'usage et redevenir forêt.

La catégorie des terres devenant terres forestières correspond à l'ensemble des terres en Forêt l'année N mais dans une autre catégorie l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec).

Approche et données

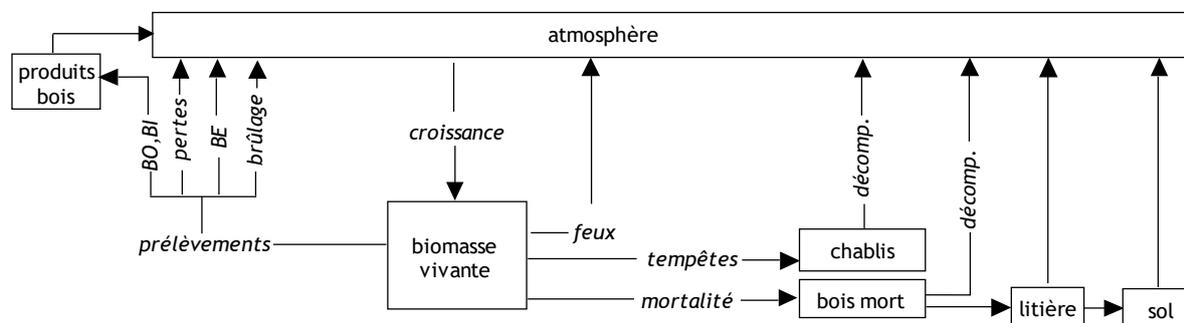
Approche générale

Les flux de carbone sont estimés en deux temps :

1. Dans un premier temps, la routine du modèle de variation de stock par maille estime, pour chaque année, et chaque compartiment les flux de carbone par variation de stock en fonction des changements d'usage (y compris entre sous-catégories d'une même catégorie Giec, par exemple entre feuillus et résineux). Ces flux concernent à la fois les terres forestières restant terres forestières et les terres devenant forêt.
2. Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée, d'autres flux de carbone sont ajoutés : flux complémentaires liés à la biomasse ligneuse type forêt (méthode gains-pertes). Ils sont appliqués aux terres forestières restant terres forestières.

En forêt, les estimations se font donc en partie avec une approche gains-pertes et en partie avec une approche par variation de stock à la maille.

Figure 54 : 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 permettent pas de connaître l'état des stocks. La méthode de variation de stock permet d'estimer indirectement ces flux.

Pour rappel, le modèle de variation de stock à la maille est décrit dans la partie *UTCATF général*.

Le tableau suivant rappelle les stocks de référence pour les sous-catégories de forêts pour l'ensemble des compartiments carbone. Ces valeurs étaient déjà présentées par compartiment dans la partie UTCATF général, s'y référer pour avoir les sources de l'ensemble des données.

Tableau 160 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de terres forestières, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)

tC/ha	Biomasse vivante	Bois mort	Litière
-------	------------------	-----------	---------

	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			Sols minéraux
Forêts indéfinies	70 [21 ; 120]	13 [4 ; 23]	0	0	0	0,16	4 [0 ; 9]	11 [5,7 ; 17,6]	77 [48 ; 95]
Forêts feuillus	71 [20 ; 127]	12 [3 ; 21]	0	0	0	0,2	4 [1 ; 11]	5,7	77 [48 ; 95]
Forêts conifères	62 [21 ; 126]	14 [5 ; 29]	0	0	0	0,2	3 [0 ; 9]	14,3 [8,1 ; 24,5]	77 [48 ; 95]
Forêts mixtes	70 [21 ; 120]	13 [4 ; 23]	0	0	0	0,2	4 [0 ; 9]	11 [5,7 ; 17,6]	77 [48 ; 95]
Peupleraies	80	16	0	0	0	0,2	3	5,7	77 [48 ; 95]

moyenne [min, max]

Les deux tableaux suivants décrivent les gains et les pertes utilisés par le modèle. Il est important de noter que les flux de gains et de pertes sont des flux maximums à appliquer lors de la conversion d'une maille en forêt (ou entre sous-catégories de forêt). Il s'agit de :

- *gains maximums annuels de référence* à appliquer à la maille devenue forêt dans le cas où le stock du compartiment avant la conversion était inférieur au nouveau stock de référence ;
- *pertes maximums annuelles de référence* à appliquer si le stock initial était supérieur.

La notion de « maximum » est utilisée car lorsque le modèle fait converger la maille vers son nouveau stock de référence, il utilise comme incrémentation ces valeurs de flux de référence mais s'arrête exactement au niveau du stock cible. Le flux la dernière année avant l'atteinte de ce stock peut donc être inférieur au flux de référence.

Tableau 161 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de terres forestières, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)

tC/ha/an	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Forêts indéfinies	1,1 [0,4 ; 2]	0,3 [0,1 ; 0,6]	0	0	3,6	6,3	0,1 [0 ; 0,23]	0,5 [0,3 ; 0,9]	1,22
Forêts feuillus	1,1 [0,3 ; 1,9]	0,3 [0,1 ; 0,5]	0	0	3,6	6,3	0,1 [0,02 ; 0,26]	0,3	1,22
Forêts conifères	1,2 [0,4 ; 2,4]	0,4 [0,1 ; 0,7]	0	0	3,6	6,3	0,07 [0 ; 0,23]	0,7 [0,4 ; 1,2]	1,22
Forêts mixtes	1,1 [0,4 ; 2]	0,3 [0,1 ; 0,6]	0	0	3,6	6,3	0,1 [0 ; 0,23]	0,5 [0,3 ; 0,9]	1,22
Peupleraies	1,4	0,4	0	0	3,6	6,3	0,06 [0,06 ; 0,06]	0,3	1,22

moyenne [min, max]

Tableau 162 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de terres forestières, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)

tC/ha/an	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Forêts indéfinies	0	0	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22
Forêts feuillus	0	0	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22
Forêts conifères	0	0	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22

Forêts mixtes	0	0	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22
Peupleraies	0	0	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22

## Approche en métropole

### Méthodologie de l'inventaire forestier

Les données décrites dans cette partie sont relatives aux flux qui s'ajoutent dans un second temps aux résultats du modèle de variation par maille. Ce sont des flux de types gains-perdes appliqués à l'échelle de la région administrative (22 anciennes régions).

Les flux de carbone estimés pour la forêt sont en grande partie dérivés des travaux de l'IGN qui produit l'inventaire forestier de la France. Le protocole pour la production des résultats d'inventaire forestier de l'IGN est décrit en détail sur le site internet de l'IGN [594]. L'inventaire forestier repose sur un système d'échantillonnage systématique comportant annuellement environ 80 000 points d'inventaire.

Deux grandes étapes peuvent être distinguées : la photo-interprétation de tous ces points d'inventaire (classification par couverture et usage et estimation des surfaces) ; la visite de terrain sur une partie des points d'inventaire classés en forêt ou landes (estimation de plusieurs dizaines de caractéristiques qualitatives et quantitatives) (voir encadré ci-dessous).

#### Méthodologie de l'IFN

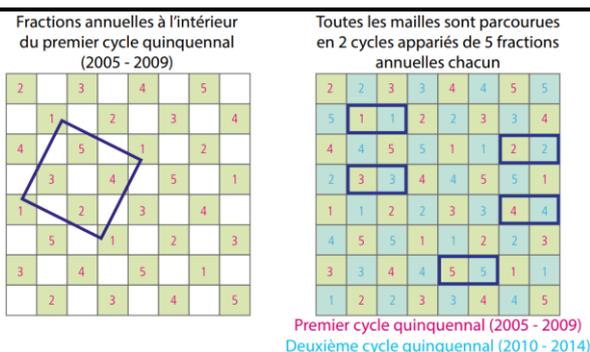
« Depuis 2005, une méthode statistique par sondage systématique est appliquée annuellement sur l'ensemble du territoire métropolitain. L'avantage de cette méthode est d'être souple et de s'adapter facilement à de multiples découpages spatiaux et à de nombreuses thématiques. Elle permet de produire annuellement des résultats nationaux et régionaux précis par agrégation de données issues de cinq campagnes annuelles.

Chaque année, un échantillon représentatif de l'ensemble du territoire est visité. Il est cumulable avec les échantillons des années adjacentes pour produire des résultats plus précis fondés sur plusieurs échantillons annuels, selon le principe de la fenêtre glissante. Les résultats standards portent ainsi sur cinq années successives et fournissent des estimations pour l'année médiane de la fenêtre. L'inventaire forestier repose sur une grille à maille carrée de 1 km de côté, mise en place pour construire dix échantillons annuels différents. Cette grille décennale est séparée en deux sous-ensembles quinquennaux, dont les fractions annuelles sont juxtaposées : la fraction 1 du premier cycle quinquennal est juxtaposée à la fraction 1 du second cycle, etc.

Ainsi, une grille formée de cinq ensembles de mailles rectangulaires de 2 km<sup>2</sup> 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 long centré sur la placette. L'espèce concernée, le diamètre de la pièce, ainsi que son état de décomposition sont relevés. De plus, un suivi des habitats forestiers est mis en place. Il s'appuie sur des clés régionalisées par domaine biogéographique ou grande région écologique et est basé sur des indicateurs écologiques et floristiques. Profitant de la proximité des mailles des échantillons n et n-5, depuis la campagne



2010, la visite des points d'un nouvel échantillon n permet un retour sur les points de l'échantillon n-5 (plus de 7 000 points par an). Depuis la campagne 2015, une grande majorité des informations sont ressaisies. Ce retour est destiné à estimer de manière précise et fiable les évolutions (flux) en forêt, comme l'accroissement des peuplements, la mortalité des arbres ou les prélèvements de bois. Les placettes initiales acquièrent ainsi un caractère « semi-permanent », puisqu'elles font l'objet d'une nouvelle mesure, cinq ans après leur mise en place. » [594, 1027, 1028]

Chaque année, la première phase statistique de l'inventaire est la photo-interprétation ponctuelle. À partir de l'orthophotographie départementale de référence en infrarouge couleur (BD ORTHO®), des informations relatives à la couverture du sol, à son utilisation et à la taille des

### 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 ;

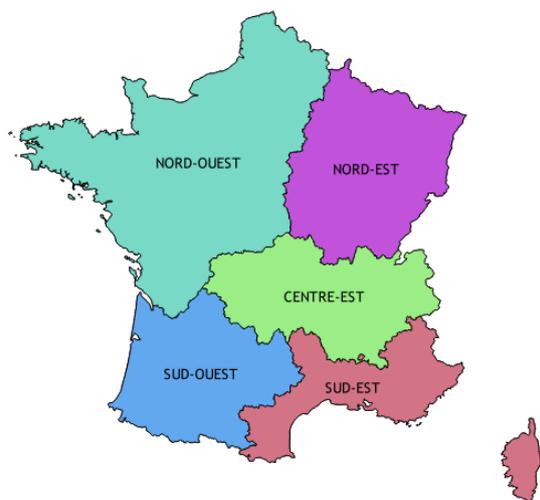


Figure 55 : Carte des interrégions IGN

- en distinguant les chablis des tempêtes exceptionnelles ;
- par campagne (les résultats de chaque campagne quinquennale sont affectés à l'année médiane, cf. tableau ci-dessous).

Tableau 163 : Campagnes de l'inventaire forestier national fournies par l'IGN utilisées dans l'inventaire UTCATF (métropole)



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 :

<p>Équation 5 (Forêts)</p> $\text{Production} = V_t - V_{t-5} = V''_t \times (1 - V'_{t-5}/V'_t)$
---

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 fournies par l'IGN sur des périodes de 5 ans (2005-2009, 2006-2010, 2007-2011,

etc.). Ces données sont traitées par l'IGN pour correspondre aux années médianes 2007, 2008, 2009, etc. dans l'inventaire de GES. Certaines années médianes correspondent donc à des périodes incluant ou non les impacts de la tempête Klaus qui a eu lieu en 2009.

Tableau 1 : Production brute annuelle de biomasse totale aérienne et racinaire (ktC/an) détaillée par interrégion telle qu'elle est fournie par l'IGN (exemple pour l'année 2007)

	PUREMENT FEUILLU	MIXTE	PUREMENT CONIFERE	PEUPLERAIE	TOTAL
CENTRE-EST	4 120	1 370	2 707	73	8 270
NORD-EST	7 964	1 352	1 828	127	11 272
NORD-OUEST	7 719	716	1 177	383	9 996
SUD-EST	1 882	557	1 523	19	3 981
SUD-OUEST	4 480	553	2 827	133	7 993
FRANCE	26 165	4 549	10 062	736	41 512

L'intégralité des valeurs de production utilisées dans l'inventaire est disponible par région, par type de peuplement et par année dans l'annexe LULUCF\_background.xlsx.

Les données transmises par l'IGN issues du nouveau protocole de l'IFN concernent actuellement les années de 2007 à 2019 (en termes d'années médianes des campagnes). D'autres données issues des anciens inventaires forestiers, permettent d'estimer la production de l'année 1990. Enfin la production de la période 1990-2007 est estimée par interpolation des taux de croissance par hectare entre 1990 et 2007.

## Mortalité

La mortalité annuelle correspond au volume des arbres qui sont morts durant l'année. Il s'agit donc du flux annuel de carbone entre le compartiment biomasse vivante et le compartiment bois mort. Il s'agit de la mortalité de fond, hors tempêtes exceptionnelles qui font l'objet d'un traitement particulier (voir plus bas). Ce flux est directement comptabilisé comme une émission vers l'atmosphère. En pratique l'IGN estime ce paramètre en mesurant les volumes des arbres morts depuis moins de cinq ans précédant la visite sur le terrain. La mortalité annuelle est estimée à partir des mesures de terrain notamment la circonférence et la hauteur des arbres morts présents. L'échantillonnage étant systématique et non biaisé, ces mesures peuvent être extrapolées à l'ensemble de la forêt métropolitaine.

Dans le GIEC 2006, cette grandeur n'est pas clairement présentée elle est incluse dans le paramètre  $L_{\text{disturbances}}$  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 total et en carbone total grâce à l'utilisation de tarifs de cubage (Vallet, 2006) et de facteurs de conversion spécifiques. Les données de mortalité fournies par l'IGN concernent des périodes de 5 ans (2005-2009, 2006-2010, 2007-2011, etc.). Ces données sont traitées par l'IGN pour fournir une mortalité « de fond » hors tempête Klaus (la mortalité liée à la tempête Klaus est traitée de manière distincte cf. paragraphe sur les tempêtes). Les résultats obtenus pour ces périodes sont appliqués aux années médianes (2007, 2008, 2009, etc.) dans l'inventaire de GES. La mortalité est extrapolée sur toute la période depuis 1990 sur la base de la tendance estimée pour la production.

Les données utilisées étant des moyennes quinquennales assimilées à l'année médiane, il y a toujours un décalage entre la dernière année médiane consolidée disponible et la dernière année à estimer pour l'inventaire de GES. Pour l'inventaire édition 2022 par exemple, la

dernière campagne utilisable concerne les années 2015-2019 et est assimilée à l'année 2017. Pour estimer les années 2018, 2019 et 2020, une extrapolation temporaire est effectuée pour palier à 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 164 : 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  $L_{\text{fellings}}$  et  $L_{\text{fuelwood}}$  de l'équation 2.11 traitant des pertes de carbone des terres forestières.

Équation 6 (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 :

$\Delta\text{CFF}_L$	=	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
$L_{\text{fuelwood}}$	=	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).

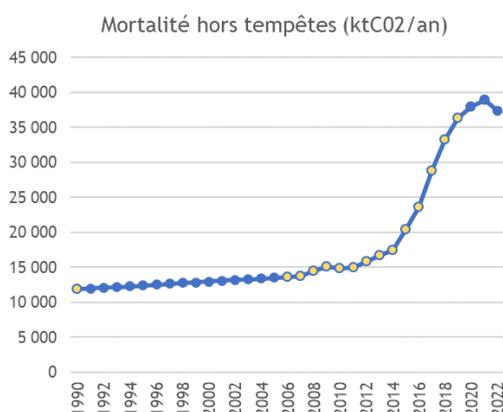
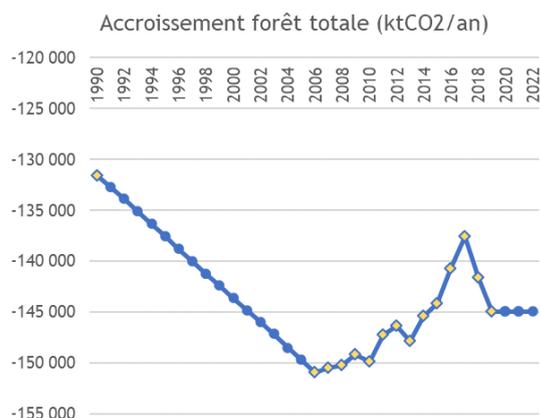
### Bilan forestier

Tableau 165 : Paramètres et bilan pour la biomasse forestière totale en métropole (ktC/an)

Accroissement	Mortalité*	Prélèvements	Bilan
---------------	------------	--------------	-------

1990	35 895	-3 250	-21 974	10 671
1991	36 196	-3 275	-22 937	9 984
1992	36 514	-3 302	-23 428	9 784
1993	36 848	-3 331	-21 912	11 605
1994	37 175	-3 361	-21 811	12 003
1995	37 505	-3 394	-21 898	12 213
1996	37 845	-3 425	-21 131	13 289
1997	38 180	-3 455	-21 437	13 288
1998	38 516	-3 484	-21 097	13 935
1999	38 830	-3 512	-38 406	-3 088
2000	39 166	-3 544	-24 815	10 807
2001	39 493	-3 574	-21 861	14 058
2002	39 802	-3 603	-19 664	16 535
2003	40 128	-3 631	-18 966	17 531
2004	40 492	-3 663	-19 227	17 602
2005	40 824	-3 692	-19 522	17 610
2006	41 160	-3 722	-19 453	17 985
2007	41 054	-3 768	-19 419	17 867
2008	40 966	-3 953	-18 459	18 554
2009	40 677	-4 125	-19 738	16 814
2010	40 867	-4 042	-20 398	16 428
2011	40 156	-4 103	-19 722	16 331
2012	39 917	-4 340	-19 722	15 855
2013	40 324	-4 573	-18 505	17 246
2014	39 657	-4 775	-18 056	16 827
2015	39 325	-5 556	-19 128	14 641
2016	38 375	-6 454	-18 824	13 097
2017	37 523	-7 851	-19 471	10 202
2018	38 618	-9 072	-20 119	9 427
2019	39 527	-9 929	-20 657	8 941
2020	39 527	-10 349	-20 572	8 606
2021	39 527	-10 614	-19 621	9 292
2022	39 527	-10 201	-20 546	8 781

\*Ce tableau inclut les pertes de carbone liées aux feux de forêt et aux tempêtes dans la mortalité



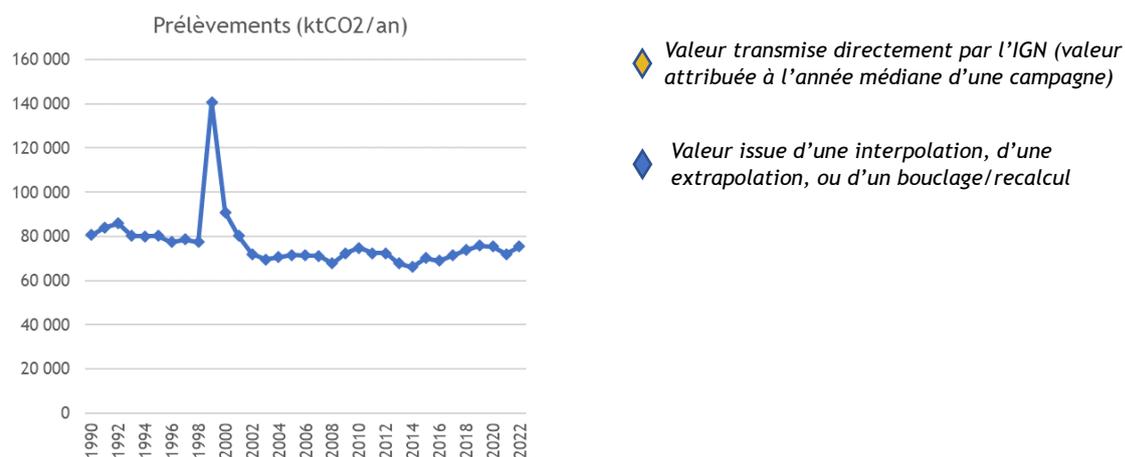


Figure 56 : Evolution des trois composantes principales du puits forestiers : accroissement, mortalité et prélèvements en forêt totale (métropole) (Source : voir détail parties précédentes)

L'intégralité des valeurs du bilan est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF\_background.xlsx (valeurs converties en CO<sub>2</sub>e).

### Discussion

Une approche par variation de stock est envisageable, en complément de l'approche des flux actuellement appliquée. Un travail de l'IGN pourrait permettre une première estimation de la variation de stock de carbone en forêt restant forêt, qui pourra être comparée avec le bilan des flux mesurés jusqu'ici.

### Approche en Outre-Mer

En Outre-mer (zone 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 1tC/ha/an pour les terres ayant subi une exploitation sur la base de Guitet et al. (2006) [328] (valeur d'accroissement de la biomasse aérienne après récolte entre 1,5tMS/ha/an et 2tMS/ha/an).

Pour le reste de la Guyane, l'hypothèse de neutralité s'appuie aussi sur l'expertise de Guitet et al. (2006) [328]. Pour les terres ayant été boisées depuis moins de 20 ans, la valeur de 1tC/ha/an est utilisée, en cohérence avec la valeur utilisée pour estimer l'accroissement 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 ( $\Delta CFF$ )

La catégorie des forêts restant forêts correspond à l'ensemble des terres en forêt depuis au moins 20 ans (période par défaut définie par le GIEC). Cette section vise l'estimation des variations de stock de carbone pour chacun des réservoirs de carbone identifié par le GIEC. Cette estimation est illustrée par l'équation suivante inspirée du GIEC 2006 [672].

*Équation 7 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.3 du GIEC 2006 [672])*

$$\Delta CFF = (\Delta CFF_{LB} + \Delta CFF_{DOM} + \Delta CFF_{Soils})$$

Avec :

$\Delta CFF$	=	Variation de stock annuelle dans l'ensemble des stocks de carbone des forêts restant forêts, t C/an
$\Delta CFF_{LB}$	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, t C/an
$\Delta CFF_{DOM}$	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse morte (bois mort et litière inclus) des forêts restant forêts, t C/an
$\Delta CFF_{Soils}$	=	Variation de stock annuelle du carbone de la matière organique du sol des forêts restant forêts, t C/an

Equation générale pour la variation de stock en terres devenant forêt ( $\Delta CLF$ )

La catégorie des terres devenant forêts correspond à l'ensemble des terres en forêt depuis au moins de 20 ans (période par défaut définie par le GIEC). Cette section vise l'estimation des variations de stock de carbone pour chacun des réservoirs de carbone identifié par le GIEC. Cette estimation est illustrée par l'équation suivante inspirée du GIEC 2006 [672].

*Équation 8 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.3 du GIEC 2006 [672])*

$$\Delta CLF = (\Delta CLF_{LB} + \Delta CLF_{DOM} + \Delta CLF_{Soils})$$

Avec :

$\Delta CLF$	=	Variation de stock annuelle dans l'ensemble des stocks de carbone des terres devenant forêts, t C/an
$\Delta CLF_{LB}$	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante (aérienne et souterraine) des terres devenant forêts, t C/an
$\Delta CLF_{DOM}$	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse morte des terres devenant forêts, tC/an ( $\Delta CLF_{DOM} = \Delta CLF_{DW} + \Delta CLF_{LT}$ soit bois mort + litière)
$\Delta CLF_{Soils}$	=	Variation de stock annuelle du carbone de la matière organique du sol des terres devenant forêts, t C/an

Méthode générale d'estimation des émissions (pour NIR en totalité ; pour IIR que « Feux de forêt » et « Brûlage sur site des résidus de récolte de bois ») :

FORÊTS RESTANT FORÊTS

Biomasse vivante (terres forestières restant terres forestières) [lb\_f ; lb\_cp ; lb\_ca ; lb\_hh]

Calcul de la variation de stock ( $\Delta\text{CFF}_{\text{LB}}$ )

Rappel approche générale

Les flux de carbone sont estimés en deux temps :

1. Dans un premier temps, la routine du modèle de variation de stock par maille estime, pour chaque année, et chaque type de biomasse les flux de carbone par variation de stock en fonction des changements d'usage entre sous-catégories (par exemple entre feuillus et résineux). Les stocks et flux associés sont décrits dans la section *UTCATF- général*.
2. Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée (interrégion IFN), d'autres flux de carbone sont ajoutés : flux complémentaires liés à la biomasse ligneuse type forêt (méthode gains-pertes). Ils concernent la biomasse vivante type forêt.

Dans cette partie seront décrits les flux relatifs au second point. Ce sont des flux relatifs à l'accroissement, la mortalité, les prélèvements forestiers et certains événements exceptionnels comme les tempêtes ou les feux de forêts (cf. la partie qui précède *Caractéristiques de la catégorie*).

Les éléments suivants vont décrire les évolutions impactant la biomasse de type forêt. Pour les autres types de biomasse, une simple application du modèle de variation de stock à la maille est réalisée.

*Équation 9 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.4 du GIEC 2006 [672])*

$$\Delta\text{CFF}_{\text{LB}} = \Delta\text{CFF}_{\text{modele}} + (\Delta\text{CFF}_{\text{G}} - \Delta\text{CFF}_{\text{L}})$$

Avec :

$\Delta\text{CFF}_{\text{LB}}$	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante type forêt (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, t C/an
$\Delta\text{CFF}_{\text{modele}}$	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante type forêt (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, t C / an, issue du modèle de variation de stock à la maille
$\Delta\text{CFF}_{\text{G}}$	=	Gains annuels en carbone de la biomasse vivante type forêt, hors modèle, t C/an
$\Delta\text{CFF}_{\text{L}}$	=	Pertes annuelles en carbone de la biomasse vivante, hors modèle, t C/an

Calcul des gains ( $\Delta\text{CFF}_{\text{G}}$ )

Pour estimer l'accroissement des arbres ; en forêts restant forêts, le GIEC propose la méthode suivante.

*Équation 10 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.9 du GIEC 2006 [672])*

$$\Delta\text{CFF}_{\text{G}} = \sum_{ij} (A_{\text{FF}_{ij}} \bullet \text{GTOTAL}_{\text{FF}_{ij}}) \bullet \text{CF}$$

Avec :

$\Delta\text{CFF}_{\text{G}}$	=	Accroissement annuel en carbone dans les forêts restant forêts, t C/an
$A_{\text{FF}_{ij}}$	=	Surfaces de forêts restant forêt, par type de forêt ( $i = 1$ to $n$ ) et par zone climatique ( $j = 1$ to $m$ ), ha

GTOTAL_FF <sub>ij</sub>	=	Accroissement moyen annuel en matière sèche (MS) sur les forêts restant forêt, par type de forêt (i = 1 to n) et par zone climatique (j = 1 to m), t MS/ha/an
CF	=	Fraction en carbone en matière sèche t C/t MS

Cette équation est appliquée dans l'inventaire français avec n = 4 types de peuplement (feuillus, résineux, mixtes et peupliers) et m = 5 régions climatiques (Nord-Ouest, Nord-Est, Centre-Est, Sud-Ouest, Sud-Est). Les accroissements pour les deux sous-catégories de forêt de l'inventaire : les terres devenant forêt et les forêts restant forêt ne sont pas disponibles annuellement. Seul l'accroissement total de la forêt est disponible.

L'accroissement des boisements est calculé grâce au modèle de variation de stock par maille (voir partie terres devenant forêt). Un volume de production brute par région est donc estimé par le modèle de boisement (terres devenant forêts). Puis, le solde de l'accroissement IGN par interrégion est déduit et appliqué en forêt restant forêt. Cela permet de conserver une cohérence avec les données fournies par l'IGN pour l'accroissement total en France métropolitaine. La production à ajouter en forêt restant forêt est ramenée à l'hectare pour garder l'esprit de l'équation 11.

L'accroissement de ces deux sous-catégories est estimé à partir de l'accroissement total de la forêt et d'un ratio de répartition tel que défini dans l'équation suivante.

<p><i>Équation 11 (Forêts)</i>  <math>P_{FFij} = P_{TOTALij} - P_{FFij\_modele} - P_{LFij\_modele}</math></p>
---

Avec :

P_FF <sub>ij</sub>	=	Production brute normalisée moyenne annuelle sur les forêts restant forêt, par type de forêt (i = 1 to n) et par zone climatique (j = 1 to m), tC/an
P_TOTAL <sub>ij</sub>	=	Production brute sur les forêts totales, tC/an, (issu des campagnes IGN)
P_FF <sub>ij</sub> _modele	=	Production brute sur les forêts restant forêts, tC/an (issu du modèle de variation de stock de carbone par maille)
P_LF <sub>ij</sub> _modele	=	Production brute sur les terres devenant forêts, tC/an (issu du modèle de variation de stock de carbone par maille)

### Calcul des pertes (ΔCFFL)

Pour les pertes de carbone de biomasse vivante en forêt restant forêt l'équation suivante est utilisée.

<p><i>Équation 12 (Forêts)</i>  <math>\Delta CFF_L = \sum_{ij} (P_{FFij} + Mortalité_{FFij}) \bullet CF</math></p>
--

Avec :

ΔCFF <sub>L</sub>	=	Pertes totales
P_FF <sub>ij</sub>	=	Prélèvements de bois (bois matériau et bois énergie)
Mortalité_FF <sub>ij</sub>	=	Mortalité moyenne annuelle en matière sèche (MS) sur les forêts restant forêt, par type de forêt (i = 1 to n) et par zone climatique (j = 1 to m), t MS/ha/an
CF	=	Fraction en carbone en matière sèche t C/t MS

Aucune perte n'est calculée par le modèle de variation de stock à la maille en forêt restant forêt (les flux de pertes sont calibrés à zéro pour la biomasse de type forêt). Ils proviennent exclusivement d'estimations externes.

### Calcul des prélèvements de bois des forêts restant forêts (P\_FFij) - Métropole

Dans l'inventaire français, il est considéré que tous les prélèvements ont lieu sur les forêts restant forêt, les prélèvements de bois ne sont donc pas répartis entre forêts restant forêts et terres devenant forêts.

## Méthode « directe » de mesure des prélèvements par l'IGN

Les prélèvements sont estimés dans un premier temps avec une donnée issue de l'IGN : l'estimation des « prélèvements directs » en forêt [202], disponibles en volume (bois fort tige IGN), en biomasse totale et en carbone total (grâce à l'utilisation de tarifs de cubage (Vallet, 2006) et de facteurs de conversion spécifiques), et sur des périodes de 5 ans.

---

### Méthodologie de l'IFN : mesure des prélèvements

« Pour estimer les prélèvements, l'IGN revient sur toutes les placettes « forêt » et « peupleraie » inventoriées cinq ans auparavant et sur lesquelles des arbres vivants avaient été observés. Le choix du pas de temps de cinq ans correspond à la période d'évaluation des autres flux (croissance des arbres et mortalité). [...] Sur les points où au moins un prélèvement de moins de 5 ans est signalé, chaque arbre qui était vivant et inventorié au passage précédent est noté comme coupé ou non. Un arbre est noté « coupé », que la grume soit vidangée ou non et que la souche soit déracinée ou non. » [594]

Cette donnée n'est disponible que depuis la mise à jour méthodologique de l'IFN de 2005, et donc est disponible pour des périodes de 5 ans (2005-2009, 2006-2010, 2007-2011, etc.). Elle comptabilise les arbres prélevés en forêt entre deux campagnes d'inventaire forestiers et permet d'évaluer, avec une incertitude faible, les volumes de bois récoltés en forêt.

---

Ces données de prélèvement de l'IGN concernent l'ensemble des prélèvements, c'est-à-dire à la fois les prélèvements liés aux récoltes en forêts restant forêt, les volumes des forêts défrichées, ou encore une part des pertes en forêt lors des incendies.

#### Équation 13 (Forêts)

$$P\_Foret\_IGN = P\_Total\_IGN - P\_Défrichement\_IGN$$

Avec :

P_Foret_IGN	=	Prélèvement dans les forêts, t C/an
P_Total_IGN	=	Prélèvement dans les forêts et sur les terres défrichées selon l'IGN, t C/an
P_Défrichement_IGN	=	Prélèvement sur les terres défrichées selon l'IGN, t C/an

Ce niveau général de prélèvement (P\_Foret\_IGN) est utilisé en complément de données statistiques sur les récoltes de bois, obtenues via la méthode « modèle » (§ 2.3.3.1.2). En effet, cette donnée IGN sert uniquement, comme donnée de « calage », à fixer le niveau général de prélèvement pour toutes les années disponibles depuis 2005, pour chacune des 5 interrégions (§2.2.2.2). Ce niveau général est calculé avec une moyenne pondérée, en prenant en compte le fait que les années centrales participent au calcul de plusieurs périodes quinquennales et donc « pèsent » davantage que les années extrêmes. Ces données ne sont pas encore utilisées pour estimer la tendance des prélèvements en forêt ni pour estimer le type de forêt dans lequel ont lieu les prélèvements.

## Méthode « modèle » - approche générale

En second temps, le niveau de prélèvement annuel est estimé à partir de différentes statistiques de vente de bois d'œuvre et de consommation de bois énergie, via un modèle qui permet d'estimer la récolte de bois et sa destination. Cette approche « modèle » est ensuite recalée sur le niveau général de prélèvement mesuré en forêt via la méthode « directe » (§ 2.3.2.3.1.2). L'approche modèle est toujours nécessaire car elle permet d'estimer les prélèvements depuis 1990 et appréhender le devenir du bois prélevé (savoir s'il est récolté, brûlé sur site, laissé en décomposition), la méthode directe servant de valeur de référence pour les années les plus récentes. Les prélèvements de bois en forêt rapportés dans l'inventaire UTCATF sont donc cohérents avec les résultats de l'IGN obtenus par la méthode « directe », mais il est nécessaire de conserver la méthode « modèle » pour

avoir un ensemble cohérent sur l'ensemble de la période inventaire et des données adaptées au rapportage dans les inventaires d'émissions. La méthode « modèle » correspond à la méthode GIEC d'estimation des prélèvements.

*Équation 14 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.12 du GIEC 2006 [672])*

$$L_{\text{wood-removals}} = H \bullet D \bullet \text{BEF}_R \bullet (1+R) \bullet \text{CF}$$

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 <sup>3</sup> /an
D	=	Densité du bois, t MS/m <sup>3</sup>
$\text{BEF}_R$	=	Facteur d'expansion applicable aux volumes récoltés, sans unité
R	=	ratio racinaire/aérien, sans unité
$f_{\text{BL}}$	=	fraction laissée en décomposition
CF	=	Fraction en carbone de la matière sèche, t C/t MS

*Équation 15 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.13 du GIEC 2006 [672])*

$$L_{\text{fuelwood}} = \text{FG} \bullet D \bullet \text{BEF}_R \bullet (1+R) \bullet \text{CF}$$

Avec :

$L_{\text{fuelwood}}$	=	Perte annuelle de carbone due aux récoltes de bois énergie, t C/an
FG	=	Volume de bois énergie récolté annuellement, m <sup>3</sup> /an
D	=	Densité du bois, t MS/m <sup>3</sup>
$\text{BEF}_R$	=	Facteur d'expansion applicable aux volumes récoltés, sans unité
R	=	ratio racine/aérien, sans unité
CF	=	Fraction en carbone de la matière sèche, t C/t MS

La méthode « modèle » est basée sur l'estimation de deux valeurs : les récoltes commerciales (bois d'œuvre et d'industrie principalement) et les récoltes non commerciales (bois de feu principalement).

Méthode « modèle » - Récoltes commerciales - Bois d'œuvre et d'industrie

Les récoltes commerciales sont issues des statistiques de ventes de bois d'œuvre et d'industrie. En métropole, l'enquête annuelle de branche sur « exploitation forestière et scierie » du SSP (EAB) fournit les volumes de récoltes commerciales de bois à l'échelle régionale [200].

Méthode « modèle » - Récoltes non commerciales - Bois énergie

Il s'agit essentiellement de prélèvement pour le bois de feu, (soit une partie du prélèvement de bois énergie), qui doit spécifiquement être estimée, bien que l'évaluation des volumes transitant par cette filière soit difficile 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 SDES [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 16 (Forêts)

$$\text{Récolte\_BE}(i) = (\text{Frac1} \bullet \text{Conso\_BE}(i+2) + \text{Frac2} \bullet \text{Conso\_BE}(i+3)) \bullet \text{FCV}$$

Avec :

Récolte\_BE( $i$ ) = Récolte de bois énergie l'année  $i$ , m<sup>3</sup>

Frac1 = Part de la consommation de l'année  $i+2$  correspondant à du bois récolté l'année  $i$

Frac2 = Part de la consommation de l'année  $i+3$  correspondant à du bois récolté l'année  $i$

Conso\_BE( $i+2$ ) = consommation de bois énergie de l'année  $i+2$ , tep

Conso\_BE( $i+3$ ) = consommation de bois énergie de l'année  $i+3$ , tep

FCV = Facteur de conversion en volume, m<sup>3</sup>/tep

Malheureusement, il n'est pas possible aux exploitants forestiers de prévoir quelle sera la consommation de bois énergie dans les années futures  $i+2$  ou  $i+3$ , cette méthode ne permet donc pas d'estimer la récolte de bois énergie de manière fiable. Par conséquent, une autre approche a été privilégiée.

Il a été supposé que les exploitants forestiers constituent des stocks. Il a ainsi été estimé que la récolte annuelle de bois énergie pouvait être approchée en moyennant les trois dernières années de consommation de bois énergie.

#### Équation 17 (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, m <sup>3</sup> /tep

Dans l'inventaire actuel, le facteur de conversion en volume (FCV) est estimé à 4,5 m<sup>3</sup>/tep sur la base des estimations suivantes pour le bois énergie : 18GJ/t et 0.147 tep/stère et un facteur de densité moyen de 0.51 t/m<sup>3</sup> 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 166 : Récoltes de bois matériau et bois énergie en Métropole depuis 1990 fournies par le SSP [200] et le bilan de l'énergie [1]

rapportageUTCATF.xls /OMINEA

ANNEE	BOIS D'OEUVRE (feuillus) (1000 m <sup>3</sup> ) [200]	BOIS D'OEUVRE (résineux) (1000 m <sup>3</sup> ) [200]	BOIS D'INDUSTRIE (feuillus) (1000 m <sup>3</sup> ) [200]	BOIS D'INDUSTRIE (résineux) (1000 m <sup>3</sup> ) [200]	BOIS CHAUFFAGE SSP (1000 m <sup>3</sup> ) [200]	BOIS ENERGIE total en forêt SDES (1000 m <sup>3</sup> ) [1]*	BOIS ENERGIE hors forêt SDES (1000 m <sup>3</sup> ) [1]*
1990	10 156	15 260	5 194	5 808	2 541	25 174	8 957
1991	9 724	14 077	5 435	6 283	2 702	27 262	9 774
1992	9 043	13 340	5 459	6 513	2 737	28 762	10 370
1993	8 033	12 509	4 732	5 901	2 755	29 561	10 684
1994	8 131	13 767	5 479	6 876	2 588	27 726	9 967
1995	8 290	14 374	5 523	7 271	2 471	26 383	9 428
1996	7 771	13 649	4 820	6 130	2 644	25 840	9 293
1997	7 845	14 245	5 342	6 495	2 770	25 673	9 210
1998	7 863	15 107	5 228	6 342	2 809	25 127	9 093
1999	7 952	15 240	5 366	6 503	2 771	23 699	8 538
2000	9 598	22 619	5 342	8 561	2 388	22 996	8 234
2001	7 642	18 952	4 788	8 477	2 359	22 001	7 977
2002	6 002	16 631	4 913	7 146	2 713	21 123	7 678
2003	5 719	15 120	5 142	6 283	2 287	21 210	7 717
2004	5 671	15 240	5 355	6 826	2 358	21 185	7 712
2005	5 858	14 741	5 375	6 799	3 547	21 802	7 913
2006	5 854	15 633	5 164	6 820	4 030	21 259	7 744
2007	6 343	16 427	5 315	6 870	3 754	22 010	7 462
2008	6 086	15 048	4 983	6 384	4 029	21 968	7 338
2009	5 228	17 265	4 113	8 235	5 516	23 164	7 478
2010	5 121	15 922	4 386	9 819	6 712	24 606	8 043
2011	5 505	15 492	4 481	8 142	8 488	24 597	7 935
2012	4 978	13 239	4 643	6 693	7 847	25 207	8 105
2013	4 862	13 673	4 255	6 148	9 902	24 366	7 683
2014	5 209	14 136	4 722	6 400	9 959	25 408	7 773
2015	5 145	13 673	4 717	6 025	11 307	25 666	7 655
2016	5 392	13 698	4 615	5 945	11 931	27 504	7 989
2017	5 304	14 127	4 584	5 958	12 814	28 808	8 228
2018	5 443	14 599	4 614	5 726	13 147	29 633	8 250
2019	5 313	14 245	4 420	6 112	8 061	29 604	8 125
2020	4 751	13 712	4 104	5 918	8 135	28 764	7 808
2021	5 015	15 838	4 037	6 088	9 389	28 995	7 888

2022	5 294	14 691	4 233	6 078	9 602	28 660	7 651
------	-------	--------	-------	-------	-------	--------	-------

\*Les données du bilan de l'énergie (SDES) intègrent les consommations du résidentiel du tertiaire, de l'agriculture, des industries de l'énergie dites de production principale. Les consommations de l'industrie et des industries de l'énergie dites « auto productrices » en sont exclues.

Les prélèvements sont estimés par la méthode « modèle » avec les équations suivantes.

#### Équation 18 (Forêts)

$$P_{\text{modèle}_i} = \text{Récottes\_SSP}_i \bullet \text{BEF} + \text{Récotte\_BE}_{(i)} \bullet (1 - \% \text{hors\_forêt} - \% \text{houppiers}) \bullet \text{BEF\_BE} - R_{\text{Défrichement\_Modele}_i}$$

Avec :

$P_{\text{modèle}_i}$	=	Prélèvement de bois l'année i estimé par la méthode « modèle »
$\text{Récottes\_SSP}_i$	=	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
$\text{Récotte\_BE}_{(i)}$	=	Récolte de bois énergie estimée pour l'année i
%hors_forêt	=	Part du bois énergie récolté en forêt
%houppiers	=	Part des houppiers exploités pour du bois énergie
BEF_BE	=	Facteur d'expansion de biomasse applicable aux récoltes de bois énergie
$R_{\text{Défrichement\_Modele}_i}$	=	Prélèvement de bois estimé pour l'année i sur les terres défrichées par la méthode basée sur les matrices de changement d'utilisation des terres

#### Équation 19 (Forêts)

$$P_{\text{modele}_i} = P_{\text{BOBI}_i} + P_{\text{ciblésBE}_i} + P_{\text{défrichements}_i}$$

avec  $P_{\text{BOBI}_i} = \text{Récottes}_{\text{BOBI\_SSP}_i} * \text{BEF}$  et  $P_{\text{ciblésBE}_i} = \text{Récottes}_{\text{ciblésBE}_i} * \text{BEF\_BE}$   
et  $P_{\text{ciblésBE}_i} = \text{Conso}_{\text{BE}} * \% \text{forêt} - P_{\text{défrichements}_i} - P_{\text{BOBI}_i} * \text{BEF} * \% \text{houppier}_{\text{valorisé}}$

Avec :

$P_{\text{modele}_i}$	=	Prélèvement de bois en forêt l'année i estimé par la méthode « modèle » (m3)
$P_{\text{BOBI}_i}$	=	Prélèvement associés aux récoltes de bois matériau en forêt l'année i estimé par la méthode « modèle » (m3)
$P_{\text{ciblés\_BE}_i}$	=	Prélèvement associées aux récoltes ciblées bois énergie en forêt l'année i estimé par la méthode « modèle » (m3)
$P_{\text{défrichement}_i}$	=	Prélèvement de bois estimé pour l'année i sur les terres défrichées par le modèle de variation de stock à la maille
$\text{Récottes\_BOBI\_SSP}_i$	=	Récolte commerciale de bois matériau estimée par le SSP pour l'année i (m3 bois fort)
BEF	=	Facteur d'expansion de biomasse applicable aux récoltes de bois matériau
$\text{Récotte\_BE}_{(i)}$	=	Récolte ciblée bois énergie en forêt estimée pour l'année i (m3 bois fort)
%forêt	=	Part du bois énergie récolté en forêt
%houppier_valorisé	=	Part des houppiers exploités pour du bois énergie
BEF_BE	=	Facteur d'expansion de biomasse applicable aux récoltes de bois énergie
Conso_BE	=	Consommation de bois énergie issue du bilan de l'énergie du SDES (m3)

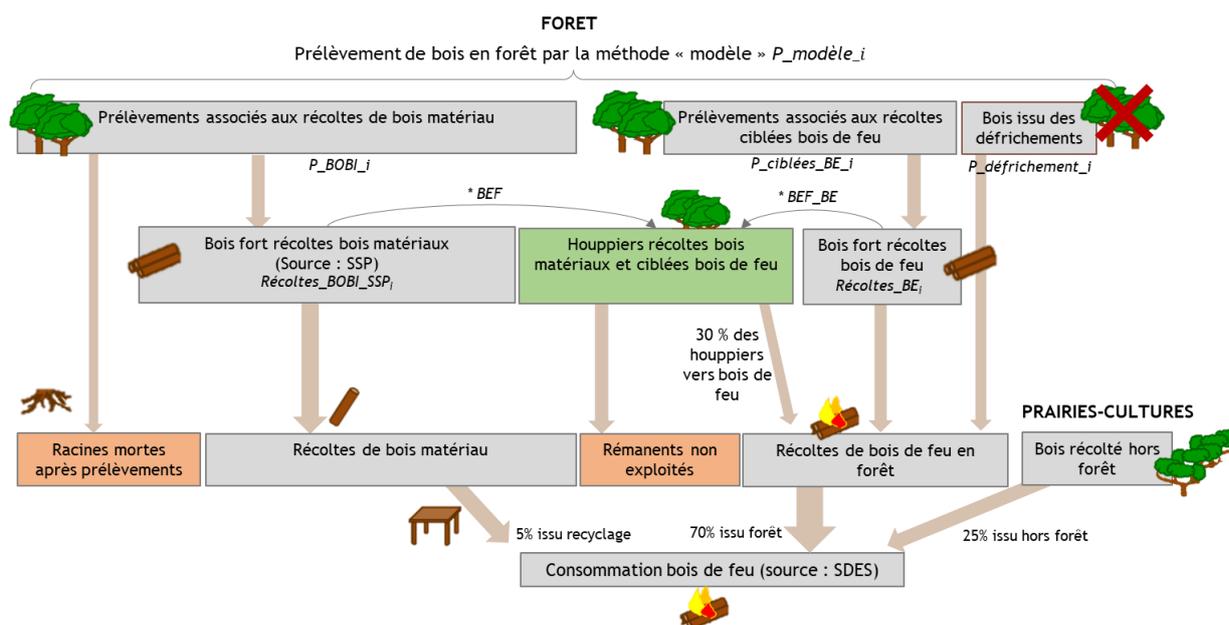


Figure 57: Représentation schématique de la méthode (dite « modèle ») d'estimation des émissions liées aux récoltes de bois)

### Méthode « modèle » - facteurs d'expansion et de conversion du bois

Pour les résultats produits par l'IGN, les volumes de biomasse totale sont obtenus par des tarifs de cubage [595] à savoir des équations qui peuvent s'appliquer aux caractéristiques de chaque arbre (espèce, circonférence, hauteur). Dans la méthode « modèle » il n'est pas possible d'utiliser ces tarifs de cubage, le GIEC propose donc l'utilisation de facteurs d'expansion de biomasse (BEF). Malheureusement ces BEF sont très difficiles à appliquer en dehors de leur propre périmètre d'étude. Pour cette raison, dans la méthode « modèle » les BEF utilisés sont des BEF spécifiques à la forêt française calculés à partir de la ressource sur pied et des tarifs de cubage utilisés par l'IGN. Les facteurs actuellement utilisés dans l'inventaire sont fournis par l'IGN, ils sont très proches des résultats disponibles dans le rapport CARBOFOR [204].

Tableau 167 : Facteurs d'expansion utilisés pour les prélèvements de bois matériau

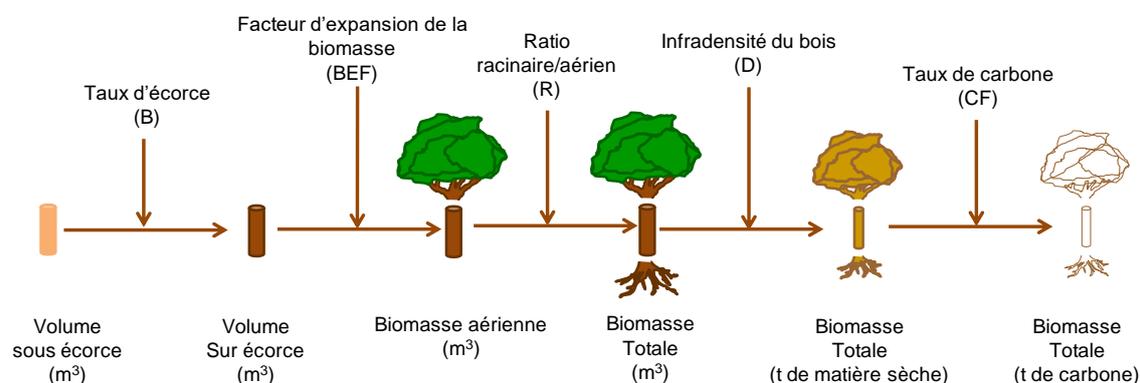
	PUREMENT FEUILLU	MIXTE	PUREMENT CONIFERE	PEUPLERAIE
CENTRE-EST	1,65	1,45	1,27	1,42
NORD-EST	1,56	1,47	1,25	1,42
NORD-OUEST	1,59	1,53	1,30	1,42
SUD-EST	1,94	1,62	1,39	1,42
SUD-OUEST	1,66	1,52	1,31	1,42
FRANCE	1,63	1,50	1,30	1,42

Pour les facteurs d'expansion souterraine, plusieurs classes sont également distinguées. Les valeurs de 1,28 et 1,30 ont respectivement été retenues pour les peuplements de feuillus et de conifères [204].

Dans le cas des forêts mixtes et du bois de feu, dans la mesure où la composition des essences récoltées n'est pas connue, les facteurs d'expansion retenus sont une valeur moyenne pondérée des facteurs d'expansion pour les feuillus et les conifères. Ces valeurs sont sensiblement variables suivant les années et valent approximativement 1,5 pour le

facteur d'expansion branches et 1,29 pour le facteur d'expansion racine. Il en est de même pour la valeur d'infradensité.

Figure 58 : 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 168 : Infradensité utilisées pour les principales essences [598]

Essence	Densité en tMS/m <sup>3</sup>	Essence	Densité en tMS/m <sup>3</sup>
chêne	0.56	sapin, épicéa	0.38
hêtre	0.56	douglas	0.41
châtaignier	0.50	pin maritime	0.44
peuplier	0.36	pin sylvestre	0.43

Les travaux conduits dans le cadre du projet CARBOFOR ont également permis de retenir une valeur de teneur en carbone de la biomasse ligneuse plus adaptée au cas français. La valeur retenue dans les inventaires est de 0,475 très proche de la valeur de 0.47 retenue par le GIEC 2006 par défaut.

Combinaison de l'approche « modèle » et de l'approche « directe »

Il existe donc deux méthodes pour estimer les prélèvements en forêt, la méthode « modèle » basée sur les lignes directrices du GIEC 2006 et la méthode « directe » de mesure des prélèvements par l'IGN. Ces deux méthodes sont combinées dans l'inventaire de GES actuel et les prélèvements sont estimés à partir de l'équation suivante.

Équation 20 (Forêts)

$$\text{Prélèvement}_i = P_{\text{modèle}} \bullet P_{\text{Foret\_IGN}}_{2005/20xx} / P_{\text{modèle}}_{2005/20xx}$$

Avec :

- Prélèvement<sub>i</sub> = Prélèvement de bois estimé pour l'année i  
 P<sub>modèle</sub><sub>i</sub> = Prélèvement de bois estimé pour l'année i à partir des données commerciales de bois matériau et des consommations de bois énergie  
 P<sub>Foret\\_IGN</sub><sub>2005/20xx</sub> = Prélèvement de bois estimé sur la période 2005-20xx par la méthode directe de l'IGN  
 P<sub>modèle</sub><sub>2005/20xx</sub> = Prélèvement de bois estimé sur la période 2005-20xx à partir des données commerciales de bois matériau et des consommations de bois énergie.

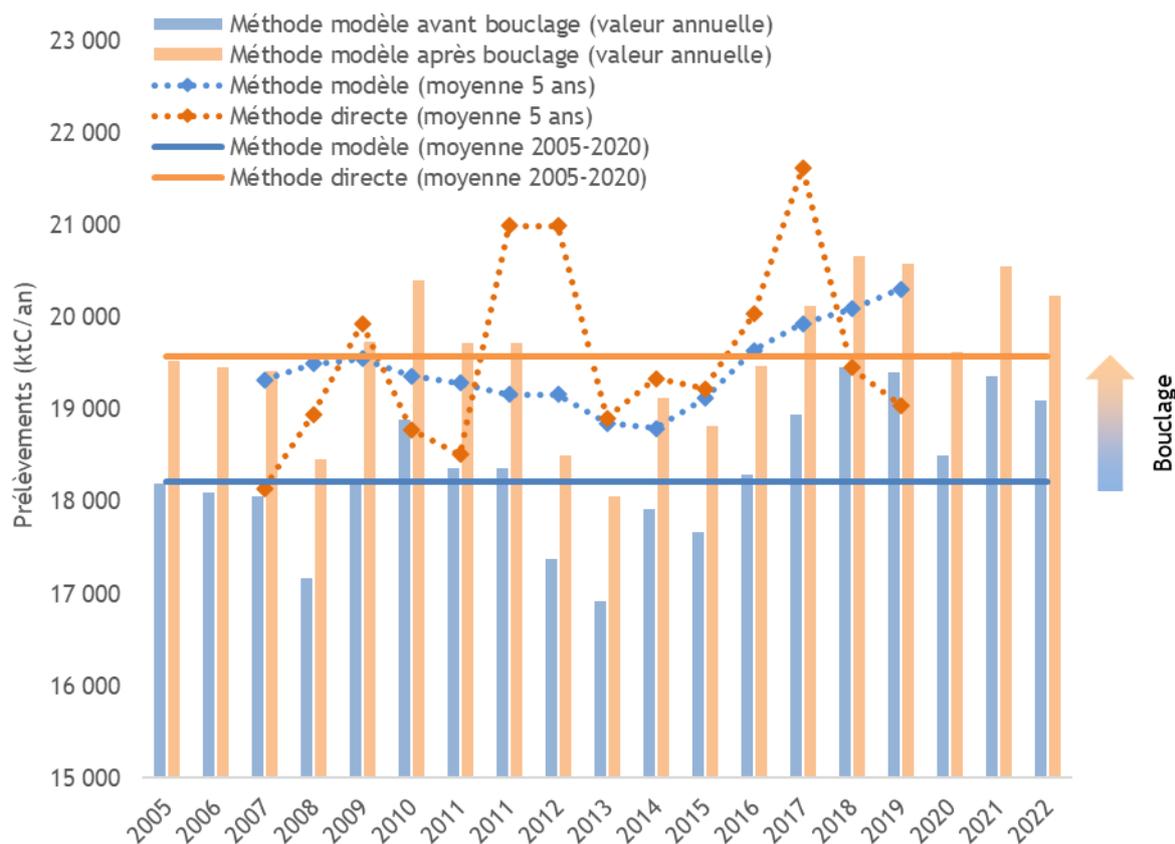


Figure 59 : Représentation de l'ajustement sur la base des données de prélèvement direct issues de l'IFN (en ktC aérien et racinaire)

Les périmètres de calcul des prélèvements entre l'approche « modèle » et l'approche « directe » ne sont pas équivalents (voir figure ci-dessous). La méthode directe de l'IGN permet d'avoir la donnée de prélèvements totaux par campagne (volumes en forêt et terres défrichées, et indique de manière distincte un niveau moyen de la part liée aux défrichements). Ces volumes défrichés sont estimés à environ 0,94 Mm<sup>3</sup> de bois fort tige par an en moyenne sur les années couvertes. L'IGN ne distingue pas la part de prélèvements liés aux dégâts de feux pour le moment.

Au niveau de l'approche Citepa, tous les éléments sont estimés indépendamment : récoltes ciblées en forêt, pertes liées aux feux, volumes défrichés. Afin de ne pas double-compter de prélèvements, le bouclage, ou recalage, s'effectue sur les récoltes ciblées en forêt, qui sont comparées aux prélèvements totaux IGN, auxquels sont soustraits le volume moyen défriché estimé par l'IGN, et le volume moyen des pertes incendies estimé par le Citepa sur la base des surfaces incendiées.

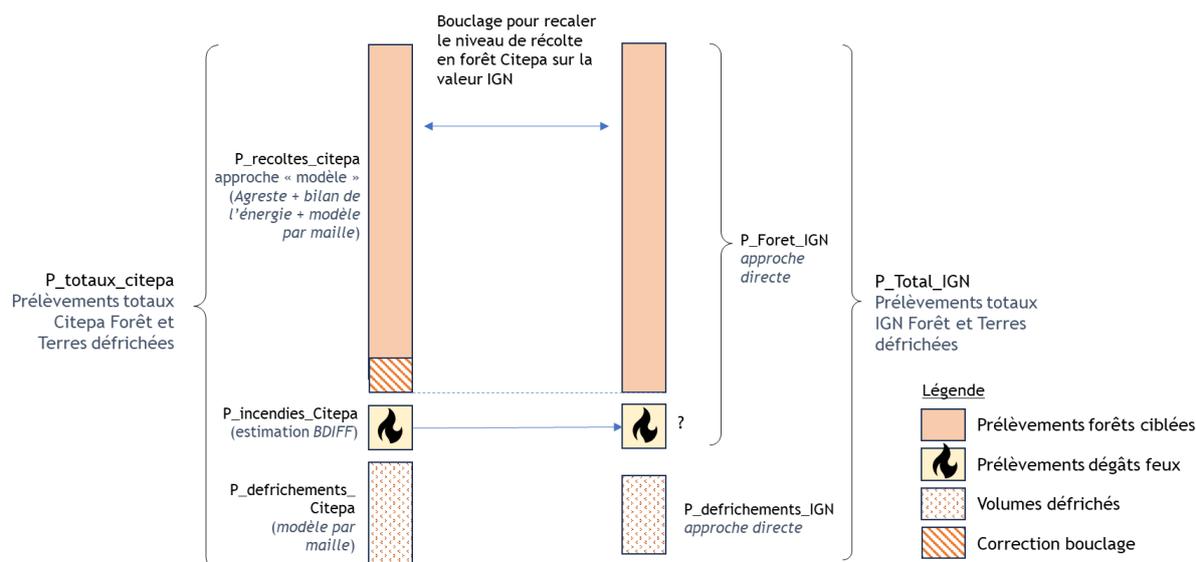


Figure 60 : Explications recalage Récoltes Citepa sur les prélèvements IGN

**Équation 21 (Forêts)**

$$P_{total\_IGN} = P_{Foret\_IGN} + P_{defrichements\_IGN}$$

$$P_{total\_Citepa} = P_{recoltes\_Citepa} + P_{incendies\_Citepa} + P_{defrichements\_Citepa}$$

Bouclage des récoltes :

$$P_{recoltes\_Citepa}^* = (P_{total\_IGN} - P_{Defrichements\_IGN} - P_{incendies\_Citepa}) * coeff\_bouclage$$

Avec :

- P\_Total\_IGN = Prélèvement dans les forêts et sur les terres défrichées selon l'IGN, t C/an
- P\_Foret\_IGN = Prélèvement (dont récoltes liées aux incendies) dans les forêts, t C/an
- P\_Défrichement\_IGN = Prélèvement sur les terres défrichées selon l'IGN, t C/an
  
- P\_total\_Citepa = Prélèvements forêts et terres défrichées (estimation Citepa), tC/an
- P\_recoltes\_Citepa = Prélèvements forêts et terres défrichées (modèle récoltes Citepa), t C/an
- (\* : bouclé)
- P\_incendies\_Citepa = Pertes de carbone estimées liées aux incendies (sur la base de BDIFF), t C/an
- P\_Défrichement\_Citepa = Prélèvement sur les terres défrichées selon le modèle par maille, t C/an

**Équation 21 (Forêts)**

$$P_{FF_{ij}} = Prélèvement_{ij}$$

Avec :

- P\_FF<sub>ij</sub> = 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<sub>ij</sub> = 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<sub>ij</sub>) - Outre-Mer

En Guadeloupe, Martinique et Réunion, la forêt représente moins de 1% de la superficie forestière française totale et est très peu exploitée, avec environ 13 000 m<sup>3</sup> de récolte annuelle pour les années récentes. En Guadeloupe et Martinique il n'y a presque pas d'exploitation forestière et la récolte très faible provient de plantations d'acajou. A la Réunion l'exploitation forestière est également très faible et essentiellement basée dans les plantations de Cryptomeria. Selon les experts forestiers de l'Office National des Forêts

(ONF) [533] et de l'Inventaire forestier national [534], les flux de carbone liés à la gestion des forêts sont négligeables dans ces îles.

A l'inverse, en Guyane, la forêt occupe une surface très importante avec environ un tiers de la superficie totale de la forêt française. Elle reste néanmoins peu exploitée aussi, avec environ 90 000 m<sup>3</sup> de récolte en 1990 et environ 73 000 m<sup>3</sup> pour les années récentes. Ce faible niveau d'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 169 : 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 <sup>3</sup> )	26 000	15 000	2 829 000	17 000	2 500 000
Récolte (1000 m <sup>3</sup> ) memento	<0.5	2	73	11	45 000
Récolte IGD 2015 (1000 m <sup>3</sup> )	17	13	80		51 000

Sources : Mémento Agreste Filière Forêt-Bois édition 2012 [532], IGN/IFN [202], Indicateurs de Gestion Durable 2015 [1270]

Cette faible exploitation des forêts ultramarines est illustrée par l'absence d'inventaire forestier et par les quelques données de récolte disponibles. En 2012, la récolte annuelle sur ces quatre territoires cumulés est estimée à 86 000 m<sup>3</sup> de bois. A titre de comparaison la récolte dans la partie métropolitaine est estimée à environ 45 000 000 m<sup>3</sup>, ce qui signifie que la récolte dans les territoires d'outre-mer correspond à environ 0,2% de la récolte totale. Ramené au stock de biomasse en forêt, le pourcentage de prélèvement est encore plus faible dans la mesure où les stocks de carbone par hectare sont très élevés en Guyane française. En actualisant ces données, le pourcentage de 0,2% reste valable.

Considérant que le niveau de récolte est très faible et qu'il est difficile actuellement d'estimer précisément les accroissements dans les autres territoires d'Outre-mer, il a été jugé préférable, par les experts forestiers français [533, 534], d'appliquer un principe de prudence et de considérer que la croissance de la forêt permet seulement de compenser la récolte.

#### Calcul de la mortalité des forêts restant forêts (Mortalité\_FF<sub>ij</sub>)

La mortalité est répartie entre les forêts restant forêts et les terres devenant forêt grâce à l'équation suivante.

Équation 22 (Forêts)

$$\text{Mortalité\_FF}_{ij} = \text{Mortalité}_{ij} \bullet A\_FF_{ij} \bullet \text{Mort\_FF}_{ij} / (A\_FF_{ij} \bullet \text{Mort\_FF}_{ij} + A\_AF_{ij} \bullet \text{Mort\_AF}_{ij})$$

Avec :

Mortalité_FF <sub>ij</sub>	=	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 <sub>ij</sub>	=	Mortalité moyenne annuelle en MS sur les forêts, t MS/an
A_FF <sub>ij</sub>	=	Surfaces des forêts restant forêts, ha
A_AF <sub>ij</sub>	=	Surfaces des terres devenant forêts, ha
Mort_FF <sub>ij</sub>	=	Mortalité moyenne annuelle en MS sur les forêts restant forêt, t MS/ha/an
Mort_AF <sub>ij</sub>	=	Mortalité moyenne annuelle en MS sur les terres devenant forêt, t MS/ha/an

Mortalité normale des forêts restant forêt

La mortalité normale, de fond, des forêts est estimée directement par l'IGN dans son inventaire forestier. Elle est fournie par interrégion et estimée pour l'année médiane de chaque campagne de cinq ans de l'IFN (§2.2.2.3).

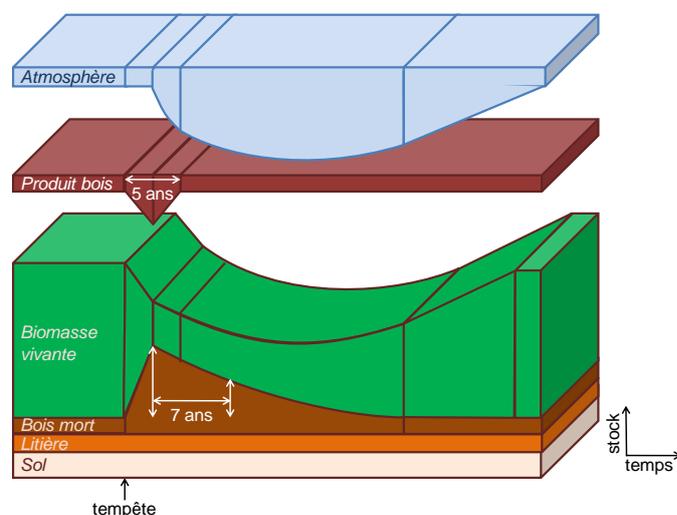
### Mortalité exceptionnelle - tempêtes

En plus de la mortalité « normale » des forêts, les tempêtes exceptionnelles affectent brusquement et souvent durablement les stocks de carbone forestier. Depuis 1990, la France a été touchée deux fois par des épisodes de tempêtes importants :

- En décembre 1999, les tempêtes Lothar et Martin ont touché quasi intégralement le territoire métropolitain et ont provoqué d'énormes dégâts notamment en Aquitaine et en Lorraine. Le bilan global s'élève à environ 175 Mm<sup>3</sup> de chablis (en bois fort) selon les estimations de l'IFN.
- En janvier 2009, la tempête Klaus a également détruit de nombreuses surfaces forestières ; elle a touché le sud-ouest de la France et en particulier le massif forestier des Landes. Le bilan global s'élève à environ 42,5 Mm<sup>3</sup> 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 61 : Représentation de l'évolution des stocks de carbone suite à une tempête



Suite aux tempêtes, l'ensemble des chablis ne peut être mobilisé : ces tempêtes génèrent donc une augmentation brusque du bois mort en forêt. Ce bois mort se dégrade au cours du temps et génère un flux de CO<sub>2</sub> vers l'atmosphère qui tend à rétablir un niveau d'équilibre pour le stock de bois mort en forêt. Contrairement à la mortalité de fond où le flux est annuel, dans l'inventaire français cette dégradation du bois mort est supposée suivre une cinétique classique d'ordre 1 à partir d'une durée de dégradation moyenne de 10 ans pour le bois mort. Cela correspond, pour le stock de bois mort excédentaire, à une valeur de demi-vie (temps pour que le stock diminue de moitié) de l'ordre de 7 ans (cf. schéma ci-dessus sur l'évolution des stocks de carbone suite à une tempête).

Équation 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 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 ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ , CO et  $\text{CH}_4$ ) en plus du  $\text{CO}_2$ . 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])  
 $\text{Emissions} = \text{Quantité\_brûlée} \bullet \text{Facteur\_oxydation} \bullet \text{Facteur\_Emission}$

Avec :

Emissions	=	Emissions de $\text{CH}_4$ , $\text{N}_2\text{O}$ , CO et $\text{NO}_x$ , 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 ( $\text{CH}_4 = 4.7$ // $\text{CO} = 107$ // $\text{NO}_x = 3$ // $\text{N}_2\text{O} = 0.26$ )

### 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  $\text{CO}_2$  de la biomasse vivante vers l'atmosphère.

La combustion de biomasse lors des feux de forêt génère des émissions de différents polluants :  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{COVNM}$ , CO,  $\text{NH}_3$ , particules. Par ailleurs, du fait de la présence de certains métaux ou éléments dans la biomasse, des émissions de métaux lourds et de certains polluants organiques persistants sont aussi possibles. Parmi elles, seules les émissions de HAP et de PCDD-F sont estimées.

### Données de surface

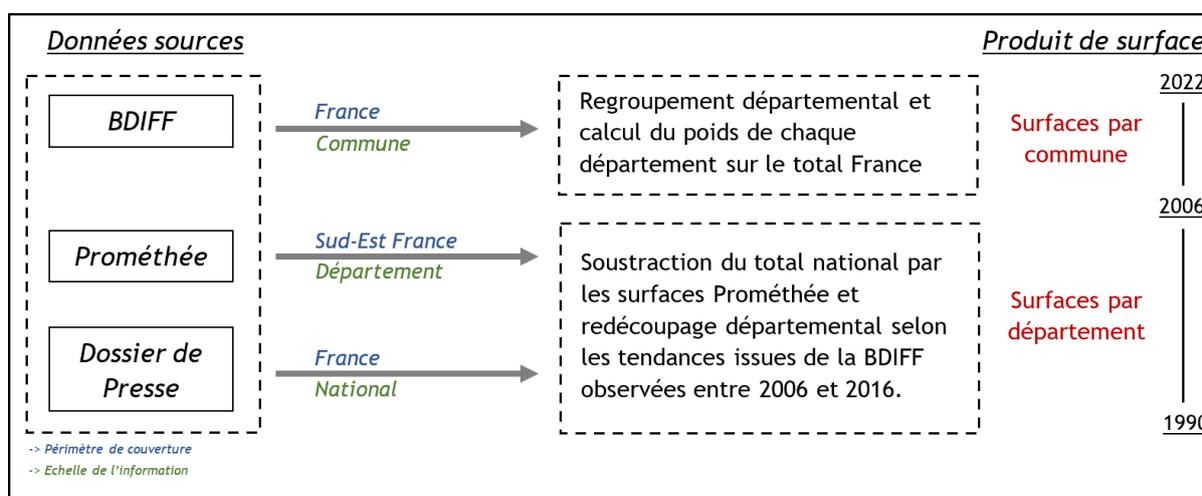
La constitution des surfaces pour la série temporelle de 1990 à aujourd'hui repose sur trois principales sources de données :

- La Base de données des feux de forêt en France (BDIFF) [723] qui couvre l'ensemble de la France métropolitaine depuis 2006 avec un niveau d'information renseigné à l'échelle de la commune.
- La base de données « Prométhée » [297], créée en 1973 cette base de données renseigne les feux de forêt et de garrigue uniquement sur certains départements du Sud-Est de la France.
- Des dossiers et communiqués de presse émanent du ministère de l'Agriculture [298], Ministère de la Transition Ecologique et/ou de certains département et région d'outre-mer.

Les surfaces incendiées sont regroupées au sein d'entités géographiques les plus homogènes possible qui varient selon la source d'information. L'ensemble de la série temporelle est reconstitué comme suit, de façon antéchronologique :

- 2022 à 2006 : Utilisation des données issues de BDIFF pour l'ensemble de la France métropolitaine disponibles à l'échelle communale.
- 2006 à 1990 : La base de données Prométhée fournit les surfaces incendiées pour 15 départements du sud-est. Le total des surfaces Prométhée est soustrait au total de surface métropole renseigné par le Dossier de Presse ministériel, le résultat est ensuite découpé à l'échelle départementale selon le poids de chaque département déterminé à partir des données réelles observées entre 2006 et 2016 issues de la BDIFF.

Figure 62 : Méthodologie utilisée pour la reconstitution des surfaces incendiées en forêt depuis 1990.



La précision des données de la BDIFF, depuis 2006, apporte des informations supplémentaires sur le type de surfaces incendiées au sein de la catégorie « feux de forêt ». On distingue ainsi trois grandes catégories de surfaces : les surfaces strictement « en forêt » et les surfaces dites « hors forêt » composées d'incendies sur des terres boisées et des terres non boisées. Cette distinction étant seulement disponible après 2006, le profil de type de surfaces brûlées par région post 2006 est appliqué aux années antérieures.

En Outre-mer appartenant à l'UE (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 170 : Surfaces incendiées en France depuis 1990

ANNEE	Feu-for.xlsx			
	METROPOLE (Zone Prométhée)	METROPOLE (hors Zone Prométhée)	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	5 234	1 790	1 082	14 343
2007	6 343	713	1 013	5 415
2008	3 491	1 219	1 052	3 117
2009	10 751	3 768	1 065	11 575
2010	5 897	2 627	1 989	10 010
2011	3 993	2 807	3 728	13 850
2012	3 858	3 715	1 735	4 232
2013	1 838	895	614	12 170
2014	3 814	919	1 584	16 103
2015	2 771	4 951	1 414	15 836
2016	12 039	2 049	1 103	16 785
2017	19 335	3 708	319	38 026
2018	2 995	943	634	10 361
2019	7 758	5 371	2 168	39 536
2020	7 131	3 679	492	5 892
2021	10 509	2 327	360	17 065
2022	14 680	44 012	296	2 283

### Estimation des émissions de GES : CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O

Les émissions sont estimées au moyen de facteurs d'émissions spécifiques à chaque type de surface et à chaque compartiment carbone. Pour la biomasse par exemple, les émissions dépendent de la quantité de matière sèche effectivement brûlée et sont calculées selon l'équation suivante (Giec, 2006) :

*Equation 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 :

$L_{\text{wild\_fires}}$	=	Pertes de carbone annuelle liée aux feux, t C/an
$i$	=	Sylvoécocorrégion (85 sylvoécocorrégions en France métropolitaine)
$A_{\text{burnt}(i)}$	=	Surface brûlée annuelle dans la sylvoécocorrégion $i$ , ha
$BW_i$	=	Stock de biomasse aérienne sur les surfaces brûlées dans la sylvoécocorrégion $i$ , t MS/ha
$\text{Frac\_burn}_i$	=	Fraction de la biomasse effectivement brûlée dans la sylvoécocorrégion $i$
$CF$	=	Fraction en carbone de la biomasse, t C/t MS (0,475)

Pour les autres compartiments le principe est similaire mais se base sur un stock en quantité de carbone directement. Les stocks par compartiment carbone sont spécifiés par types de surfaces (forêt, terres boisées et terres non boisées) et par sylvo-écocorrégion ou par GRECO (grande région écologique) sur la base des stocks utilisés dans le modèle de variation par maille (voir section UTCATF - général).

Tableau 171: Stocks par compartiment et type de surface brûlée utilisés pour le calcul des émissions liées aux feux de forêts

Stocks par compartiment carbone (en tMS ou tC)	Surfaces en forêt	Surfaces en terres boisées hors forêt	Surfaces en terres non boisées
Biomasse aérienne ligneuse	129 tMS/ha (40 - 247) <sup>1</sup>	15 tMS/ha Médinet, 2018 - Shrubland [993]	0 tC/ha

Feuillage	<i>Non estimé</i>	<i>Non estimé</i>	0 tC/ha
Biomasse herbacée	<i>Non estimé</i>	<i>Non estimé</i>	4,1 tMS/ha Giec, 2006 - Grassland tempéré [437]
Litière	8,5 tC/ha (6,3 - 12,7) <sup>2</sup>	<i>Non estimé</i>	0 tC/ha
Bois mort		<i>Non estimé</i>	
Racines		<i>Non estimé</i>	
Sol minéraux (0-30cm)		<i>Non estimé</i>	

<sup>1</sup> moyenne, min et max par sylvoécorégions [voir section UTCATF -général]

<sup>2</sup> moyenne, min et max par GRECO [voir section UTCATF -général]

Un facteur de combustion (Frac Burn) est ensuite appliqué à chaque compartiment carbone pour estimer les pertes par combustion.

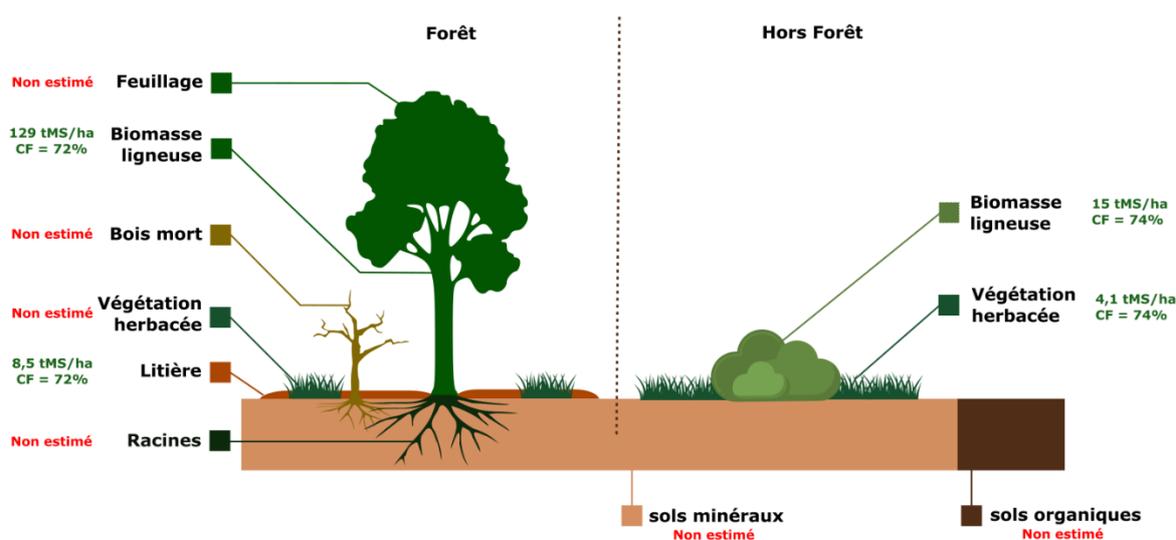
Tableau 172 : Facteurs de combustion par compartiment carbone en fonction des surfaces incendiées

Stocks par compartiment carbone (en tMS ou tC)	Surfaces en forêt	Surfaces en terres boisées hors forêt	Surfaces en terres non boisées	Végétation Tropicale
Biomasse aérienne ligneuse	21% (10% - 27%) *	72% Giec, 2006 - Table 2.6 [437]	-	20% [795]
Végétation herbacée	Non estimé	Non estimé	74% Giec, 2006 - Table 2.6 [437]	77% [437]
Litière	76% (70% - 90%) *	Non estimé	-	Non estimé

\* Pour les surfaces en forêt les facteurs de combustion sont estimés en fonction des peuplements pour chaque GRECO à partir des données issues de Mouillot et al., 2006 (Table 2) [1276].

Pour chaque ancienne région, des facteurs d'émissions liés au profil de végétation brûlée, aux stocks de référence et aux fractions brûlées sont déduits pour la période post 2006. Ils sont réutilisés pour la période 1990-2006, et appliqués aux surfaces estimées hors BDIFF pré 2006.

Figure 63 : Synthèse des compartiments carbone estimés dans le calcul feux de forêt



Les facteurs d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants pour les feux sont présentés plus bas.

Biomasse morte (terres forestières restant terres forestières) [dw] [lt]

Calcul de la variation de stock ( $\Delta\text{CFF}_{\text{DOM}}$ )

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])*

$$\Delta\text{CFF}_{\text{DOM}} = \Delta\text{CFF}_{\text{DW}} + \Delta\text{CFF}_{\text{LT}}$$

Avec :

$\Delta\text{CFF}_{\text{DOM}}$  = Variation annuelle de stock dans la biomasse morte dans les forêts restant forêts, t C/an

$\Delta\text{CFF}_{\text{DW}}$  = Variation de stock dans le bois mort dans les forêts restant forêts, t C/an

$\Delta\text{CFF}_{\text{LT}}$  = Variation de stock dans la litière dans les forêts restant forêts, t C/an

Bois mort (terres forestières restant terres forestières) [dw]

La méthode générale d'estimation de la variation de bois mort est la suivante :

*Équation 27 (Forêts) (Méthode des flux inspirée de l'équation 2.18 du GIEC 2006 [672])*

$$\Delta\text{CFF}_{\text{DW}} = \Delta\text{CFF}_{\text{modele}} + [A \bullet (B_{\text{into}} - B_{\text{out}})] \bullet \text{CF}$$

Avec:

$\Delta\text{CFF}_{\text{DW}}$  = Variation annuelle du stock de carbone dans le bois mort pour les forêts restant forêt, tC/an

$\Delta\text{CFF}_{\text{modele}}$  = Variation annuelle du stock de carbone dans le bois mort pour les forêts restant forêt issue du modèle de variation de stock à la maille, tC/an

A = Surface de forêt gérée restant forêt, ha

$B_{\text{into}}$  = Flux moyen entrant pour le réservoir bois mort, t MS/ha/an

$B_{\text{out}}$  = Flux moyen sortant pour le réservoir bois mort, t MS/ha/an

CF = Fraction en carbone en matière sèche t C/t MS

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les terres forestières restant terres forestières, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de bois mort. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF - général*), et peuvent être non nuls car les stocks de référence de carbone dans le bois mort diffèrent selon les sous-catégories.

Flux estimés en complément

Puis, des flux additionnels sont appliqués, en lien avec la mortalité et les tempêtes.

Données et hypothèses

Dans les inventaires français, le paramètre  $B_{\text{into}}$  est estimé, il correspond à la mortalité, mais le paramètre  $B_{\text{out}}$  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  $B_{\text{into}} = B_{\text{out}}$ , 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) 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 :	Avec :
<p style="text-align: center;"><i>Équation 27 (Forêts)</i>  <i>inspirée de l'équation 2.19 du GIEC 2006 [672]</i>  <math>\Delta CFF_{DW} = [A \bullet (B_{t2} - B_{t1}) / T] \bullet CF</math></p>	<p><math>\Delta CFF_{DW}</math> = Variation annuelle du stock de carbone dans le bois mort pour les forêts restant forêt, t C/an</p> <p>A = Surface de forêt gérée restant forêt, ha</p> <p>Bt1 = Stock de carbone dans le bois mort à l'instant t1 pour les forêts gérées restant forêt, t MS/ha</p> <p>Bt2 = Stock de carbone dans le bois mort à l'instant t2 pour les forêts gérées restant forêt, t MS/ha</p> <p>T = Période (t2 - t1), an</p>

---

La méthode par variation de stock n'a pu encore être mise en place pour les surfaces restant dans la même sous-catégorie 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 (terres forestières restant terres forestières) [lt]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les terres forestières restant terres forestières, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de litière. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF - général).

Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire pour ce compartiment. Sans changement entre sous-catégories, ce stock est supposé constant (hypothèse de stabilité) et aucun flux n'est donc pris en compte. L'évolution de l'intensité sylvicole et ses impacts sur la litière ne sont pour l'instant pas estimés.

### Regain de litière post combustion par feux de forêt

Le compartiment litière subit des pertes par combustion lors d'un feu de forêt. Ces pertes sont estimées à environ 72% des stocks de matières organiques du compartiment litière (variable selon le peuplement) [1277]. Ces émissions sont estimées dans la partie relative aux incendies en forêt restant forêt. La prise en compte des pertes par combustion pour le compartiment litière implique l'estimation d'un regain de carbone pour reconstituer les stocks perdus. Par conséquent, un regain est estimé et lissé sur une période de 20 ans jusqu'à atteinte des stocks de référence de chaque grande sylvoecorégion.

## Discussion

Une étude [602] a également été réalisée par l'ONF et l'université de Louvain sur les placettes du réseau de suivi forestier RENECOR pour connaître l'évolution du stock de carbone dans la litière et dans les sols. Cette étude a été lancée par le ministère de l'Agriculture français en vue de répondre aux exigences de rapportage 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.

Matière organique du sol (terres forestières restant terres forestières) - sols minéraux [s-min]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les terres forestières restant terres forestières, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de carbone dans les sols. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF - général), ils sont a priori toujours nuls car les stocks de référence de carbone dans les sols ne varient pas entre sous-catégories de forêts, ni dans le temps.

Le GIEC propose une estimation des stocks de carbone sur la base de stocks de référence associé à des facteurs correcteurs liés à la gestion. Aucune information n'a été identifiée permettant de traduire l'évolution de ces modes de gestion en forêt, les stocks de carbone des sols sont donc stables au cours du temps en l'absence de changement d'utilisation des terres. Il est considéré que le stock de carbone de ce réservoir n'évolue pas au cours du temps.

Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire pour ce compartiment. Sans changement entre sous-catégories, ce stock est supposé constant (hypothèse de stabilité) et aucun flux n'est donc pris en compte. L'évolution de l'intensité sylvicole et ses impacts sur les sols ne sont pour l'instant pas estimés.

Discussion

Les données disponibles actuellement sont :

- les données du RMQS, disponibles pour l'instant pour une seule campagne (2000-2009). Une deuxième campagne, en cours, devrait permettre d'obtenir des variations de stocks, qui, si elles sont significatives, seront mobilisables dans l'inventaire. Actuellement, le RMQS ne permet pas d'estimer un flux de carbone dans les sols forestiers sans changement.
- les données issues du réseau de suivi forestier RENECOFOR, qui n'est pas complètement représentatif de l'ensemble de la forêt française. Une étude [602] menée par l'ONF et l'université de Louvain sur les placettes du réseau, et lancée par le ministère de l'Agriculture français en vue de répondre aux exigences de rapportage du Protocole de Kyoto, étudie conclut que les sols forestiers français peuvent être considérés de manière significative comme des puits de carbone. Les taux estimés sur une période de 15 ans sont de 0,19 tC/ha/an sous feuillus et 0,49 tC/ha/an sous résineux [602]. Ces facteurs d'absorption ont été jugés non représentatifs de l'ensemble des forêts françaises et ne sont pas exploités directement dans les inventaires de GES ; même si certaines études extrapolent les résultats obtenus sur le réseau RENECOFOR tout en appliquant une marge d'incertitude [994]. En revanche, cette étude permet de justifier l'hypothèse de neutralité en assurant qu'il s'agit d'une hypothèse conservatrice, puisque les sols forestiers seraient des puits de carbone. Une estimation fiable n'est simplement pas faisable à ce stade.

## TERRES DEVENANT TERRES FORESTIERES

Biomasse vivante (terres devenant terres forestières) [lb\_f ; lb\_cp ; lb\_ca ; lb\_hh]

Calcul de la variation de stock ( $\Delta CLF_{LB}$ )

Pour rappel, les flux concernant la biomasse vivante de type forêt sont distingués des flux de biomasse vivante type cultures pérennes et type herbacées. Le stock de carbone de biomasse vivante de type forêt évolue au cours du temps : ses variations sont estimées à partir des accroissements et de la mortalité. Il est considéré que les terres dont l'usage forêt est inférieur à 20 ans ne font pas l'objet de récoltes.

*Équation 28 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.4 du GIEC 2006 [672])*

$$\Delta CLF_{LB} = \Delta CFF_{\text{modele}} + (\Delta CLF_G - \Delta CLF_L)$$

Avec :

$\Delta CLF_{LB}$	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante type forêt (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, t C/an
$\Delta CLF_{\text{modele}}$	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante type forêt (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, issue du modèle de variation de stock à la maille, t C/an
$\Delta CLF_G$	=	Gain annuel en carbone de la biomasse vivante type forêt, t C/an
$\Delta CLF_L$	=	Perte annuelle en carbone de la biomasse vivante type forêt, t C/an

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les terres non forestières devenant terres forestières on estime les pertes et gains de biomasse en différenciant différents types de biomasse : biomasse ligneuse type forêt [lb\_f], biomasse ligneuse type culture pérenne [lb\_cp], biomasse herbacée type culture annuelle [lb\_ca] et biomasse herbacée type herbe [lb\_hh]. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF - général).

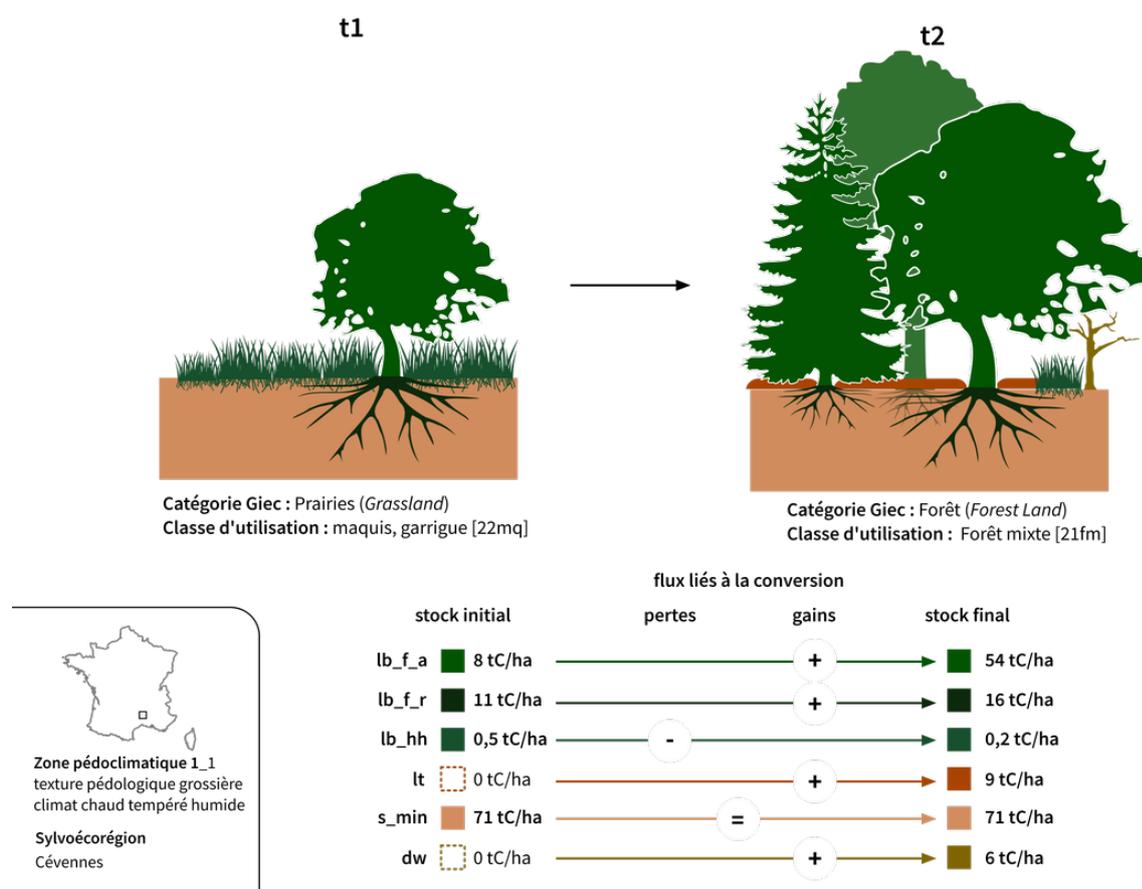


Figure 64 : Exemple de conversion d'un maquis en forêt et flux de carbone estimés par le modèle de variation de stock à la maille pour l'ensemble des compartiments

## Flux estimés en complément

Des flux de mortalité sont estimés en complément uniquement pour la biomasse vivante de type forêt.

### Gains ( $\Delta CLF_G$ )

Pour estimer l'accroissement des arbres sur les terres devenant forêts, le GIEC distingue deux cas : les terres gérées de manière intensive incluant les plantations et les terres gérées de manière extensive. Dans l'inventaire français il n'a pas été possible de distinguer ces deux cas. Les gains de carbone sur ces terres sont donc calculés à partir du modèle de variation de stock à la maille par type de peuplement pour tous les types de biomasse vivante.

- Pour la biomasse vivante de type forêt, une terre devenant forêt visera le stock de référence de la sylvoécocorégion et l'atteindra au bout de 40 ans si elle ne change pas d'usage avant cela (les stocks et flux de référence ont été rappelés au début de la partie 4A. *Terres forestières*).
- En forêt, il n'y a pas de cultures pérennes, par conséquent les gains en biomasse vivante de type cultures pérennes sont toujours nuls. Cela est vrai également pour la biomasse vivante herbacée de type cultures annuelles.

- En revanche, des flux sont calculés pour les gains de biomasse herbacée de type herbe lors des conversions. Il suffit que l'usage initial de la maille ait un stock inférieur au stock de référence forestier.

#### Pertes ( $\Delta CLF_L$ )

Pour les pertes de carbone sur les terres devenant forêts l'équation suivante est utilisée. Cette équation est appliquée dans l'inventaire français avec  $n = 4$  types de forêt (feuillus, résineux, mixtes et peupliers) et  $m = 5$  régions climatiques (Nord-Ouest, Nord-Est, Centre-Est, Sud-Ouest, Sud-Est).

<p><i>Équation 29 (Forêts)</i>  <math display="block">\Delta CLF_L = \Delta CLF_{\text{modele}} + \sum_{ij} (\text{Mortalité}_{LF_{ij}}) \bullet CF</math></p>
--

Avec :

$\Delta CFF_L$	=	Pertes totales
$\Delta CFF_{\text{Modele}}$	=	Pertes issue du modèle de variation de stock à la maille, t C/an
$\text{Mortalité}_{LF_{ij}}$	=	Mortalité moyenne annuelle en matière sèche (MS) sur les terres devenant forêts, par type de forêt ( $i = 1$ à $n$ ) et par zone climatique ( $j = 1$ à $m$ ), t MS/ha/an
CF	=	Fraction en carbone en matière sèche t C/t MS

Des pertes de carbone sur ces terres sont calculées à partir du modèle de variation de stock à la maille par type de peuplement pour tous les types de biomasse vivante.

- Les pertes en biomasse vivante de type forêt sont toujours nulles avec le modèle car les pertes de référence pour les catégories forestières sont fixées à zéro. Ce choix a été fait pour ne pas détecter de pertes de biomasse lors de conversion entre feuillus et conifères par exemple, afin de ne pas créer de double compte avec le calcul des récoltes.
- Les pertes en biomasse vivante de type cultures pérennes sont calculées par le modèle sur la base d'une perte de la totalité de la biomasse en 1 an (20 tC/ha/an pour la biomasse aérienne et 10 tC/ha/an pour la biomasse racinaire, ce qui vide nécessairement le compartiment). Cela illustre par exemple un arrachage de vignes avant une conversion en forêt.
- De la même façon, les pertes en biomasse herbacée sont calibrées sur 1 an. Pour la biomasse type cultures annuelles, tout le stock est perdu en une année si une culture est convertie en forêt par exemple. Pour la biomasse de type herbe, la conversion se fait en 1 an vers le stock de référence forestier.

A ces pertes s'ajoutent des flux de mortalité décrits ci-dessous.

#### Mortalité des terres devenant forêts ( $\text{Mortalité}_{LF_{ij}}$ )

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.

<p><i>Équation 30 (Forêts)</i>  <math display="block">\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}})</math></p>
---

Avec :

Mortalité_LF <sub>ij</sub>	=	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 <sub>ij</sub>	=	Mortalité moyenne annuelle en MS sur les forêts, t MS/an
A_FF <sub>ij</sub>	=	Surfaces des forêts restant forêts, ha
A_LF <sub>ij</sub>	=	Surfaces des terres devenant forêts, ha
Mort_FF <sub>ij</sub>	=	Mortalité moyenne annuelle en MS sur les forêts restant forêt, t MS/ha/an
Mort_LF <sub>ij</sub>	=	Mortalité moyenne annuelle en MS sur les terres devenant forêt, t MS/ha/an
Biomasse morte (terres devenant terres forestières) [dw] [lt]		

Les variations de stock de carbone pour la biomasse morte sont décomposées entre bois mort et litière.

Bois mort (terres devenant terres forestières) [dw]

La conversion d'une terre en forêt s'accompagne de la création du réservoir bois mort et donc d'un stockage de carbone dans ce réservoir. Dans l'inventaire français actuel, ce stockage est estimé par la méthode de la variation de stock à la maille. Le stock de bois mort de référence est le stock de la sylvoécocorégion par type de peuplement, et il sera atteint au bout de 40 ans. Pour les peupleraies, seule une valeur nationale est utilisée. Le stock moyen est d'environ 3 à 4 tC/ha pour les sous-catégories de forêt. Les valeurs sont disponibles dans le tableau de stock de référence en début de section, paragraphe *Approche et données*, ou à la section *UTCATF-Général*.

Litière (terres devenant terres forestières) [lt]

Le passage en usage forêt d'une terre s'accompagne de la création du réservoir litière et donc d'un stockage de carbone dans ce réservoir. Dans l'inventaire français actuel, ce stockage est estimé par la méthode de la variation de stock à la maille. Le stock de litière de référence est le stock de la GRECO par type de peuplement, et il sera atteint au bout de 20 ans. Les valeurs sont disponibles dans le tableau de stock de référence dans le paragraphe *Méthodes génériques (UTCATF-Général)*.

Matière organique du sol (terres devenant terres forestières) - sols minéraux [s\_min]

Les variations du stock de carbone des sols sont estimées selon la méthode décrite dans la partie générique et commune à toutes les terres avec changement (modèle de variation de stock par maille).

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Emissions de CO<sub>2</sub> liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone

Les variations de stock des différents compartiments carbone associées aux terres forestières changeant de sous-catégorie ou aux terres converties en terres forestières entraînent des flux de CO<sub>2</sub>. Des flux de carbone complémentaires liés à la mortalité, l'accroissement ou aux récoltes sont aussi pris en compte. La conversion du flux de C en CO<sub>2</sub> se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12).

Emissions de CO<sub>2</sub> liées au brûlage

Les émissions de CO<sub>2</sub> provenant des feux de forêts sont calculés directement à partir de l'estimation de la quantité de biomasse brûlée. La conversion en CO<sub>2</sub> de la biomasse brûlée est estimée grâce à une teneur moyenne de 0,5 tC/t m.s.

**Emissions de CH<sub>4</sub>**

Emissions de CH<sub>4</sub> liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions liées au drainage ou à la remise en eau sont actuellement estimées dans l'inventaire français pour les sols organiques des cultures et de prairies uniquement et sont négligées en forêt.

Emissions de CH<sub>4</sub> liées au brûlage

Conformément aux recommandations du GIEC [672], la génération de CH<sub>4</sub> issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois ou d'un défrichage est prise en compte. Lors de l'exploitation, la part de biomasse brûlée correspond à 5 % des rémanents par hypothèse. Les experts terrains rapportent que la pratique de brûlage n'est plus pratiquée, et souvent interdite par des arrêtés préfectoraux. Des dérogations étant possibles, une valeur conservatrice de 5 % est conservée. Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Les émissions des feux de forêts sont estimées au moyen des facteurs d'émission de 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 N<sub>2</sub>O**

Emissions de N<sub>2</sub>O liées à la fertilisation (directes et indirectes)

Les émissions de N<sub>2</sub>O liées à la fertilisation des terres forestières sont actuellement négligées dans l'inventaire français.

Emissions de N<sub>2</sub>O liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions liées au drainage ou à la remise en eau sont actuellement estimées dans l'inventaire français pour les sols organiques des cultures et de prairies uniquement et sont négligées en forêt.

Emissions de N<sub>2</sub>O liées à la minéralisation des sols

Les émissions de N<sub>2</sub>O 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 N<sub>2</sub>O liées au brûlage

Conformément aux recommandations du GIEC [672], la génération de N<sub>2</sub>O issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois ou d'un défrichage est prise en compte. Lors de l'exploitation, la part de biomasse brûlée correspond à 5 % des rémanents par hypothèse. Les experts terrains rapportent que la pratique de brûlage n'est plus pratiquée, et souvent interdite par des arrêtés préfectoraux. Des dérogations étant possibles, une valeur conservatrice de 5 % est conservée. Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Les émissions des feux de forêts sont estimées au moyen des facteurs d'émission de 0,26 kg/t m.s (métropole) et de 0,2 kg/t m.s (Outre-mer) tirés des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

Données d'activité : quantités brûlées

### *Feux de forêt*

(voir plus haut « Calcul des émissions liées aux incendies de forêt »)

### *Brûlage sur site de résidus de récolte de bois*

(voir plus haut « Calcul des émissions liées au brûlage sur site des résidus de récolte de bois »)

### Facteurs d'émission

Selon la disponibilité des facteurs d'émission les émissions sont basées soit sur la biomasse brûlée soit sur les surfaces brûlées. Lorsque les facteurs d'émissions sont basés sur la surface brûlée, les facteurs d'émission sont spécifiques à chacune des deux zones (zone méditerranéenne et reste de la métropole) pour refléter dans la mesure du possible les différences de type de végétation et leur densité.

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

#### Emissions de SO<sub>2</sub> liées au brûlage

Les émissions des feux de forêt sont estimées au moyen de facteurs d'émission de 24 kg/ha (zone tempérée) et de 6 kg/ha (zone méditerranéenne) tirés du Guidebook EMEP / CORINAIR [17].

#### Emissions de NO<sub>x</sub>

#### Emissions de NO<sub>x</sub> liées au brûlage

Les émissions de NO<sub>x</sub> des feux de forêt sont estimées au moyen des facteurs d'émission de 0,3 kg/t m.s (métropole) et de 1,6 kg/t m.s (Outre-mer) tirés des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

### **Emissions de COVNM**

#### Emissions de COVNM liées au brûlage

Les émissions des feux de forêt sont estimées au moyen de facteurs d'émission de 280 kg/ha (zone tempérée) et de 71 kg/ha (zone méditerranéenne) tirés du Guidebook EMEP / CORINAIR [17].

### **Emissions de CO**

#### Emissions de CO liées au brûlage

Conformément aux recommandations du GIEC [672], la génération de CO issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois est prise en compte. Lors de l'exploitation, la part de biomasse brûlée correspond au solde une fois prise 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 107 kg/t m.s (métropole) et de 104 kg/t m.s (Outre-mer) tirés des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Emissions de NH<sub>3</sub>

Emissions de NH<sub>3</sub> liées au brûlage

Les émissions de NH<sub>3</sub> pour les feux de forêt sont estimées au moyen de facteurs d'émissions de 24 kg/ha (zone tempérée) et de 6 kg/ha (zone méditerranéenne) tirés du Guidebook EMEP / CORINAIR [17].

#### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Le brûlage sur site et les feux de forêt engendrent de grandes quantités d'imbrûlés solides. Ces émissions, qui sont particulièrement aléatoires et présentent une très grande variabilité, sont estimées pour les feux de forêts uniquement, et non pour les feux de végétation hors-forêt. Les facteurs d'émission utilisés sont de l'ordre de 17 kg/t.ms [66].

#### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Des ratios exprimés par rapport aux particules totales (66% et 60% pour estimer respectivement les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2,5</sub>) sont utilisés [66]. Ces ratios présentent une très forte incertitude.

#### **Métaux lourds (ML)**

Des émissions de métaux lourds, généralement très faibles, sont susceptibles de survenir lors du brûlage sur site et d'incendies de forêts par suite de la présence de certains métaux (Zn, Cr, Cu) dans la biomasse. Cette présence peut être naturelle (traces parfois liées à la nature des sols) ou anthropique (bois mitraillés par exemple). Les émissions de métaux lourds liées aux feux de forêt sont actuellement négligées dans les inventaires.

#### **Dioxines et furannes (PCDD-F)**

Des émissions de dioxines peuvent se produire au cours des incendies de forêts du fait de la présence d'éléments chlorés provenant des aérosols marins [802]. Les éléments disponibles jusqu'à présent n'ont pas été jugés assez probants pour retenir des valeurs permettant de quantifier les émissions dans les inventaires.

#### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Les émissions de HAP des feux de forêt sont estimées sur la base de facteurs d'émissions tirés de l'étude AER [188].

Tableau 9 : Facteurs d'émissions de HAP utilisés pour les feux de forêt

HAP	Facteur d'émission (g/Mg)
FluorA	3.4
BaA	3.1
BbF	4.3
Bkf	2.2
BaP	7.2
IndPy	2.8
BghiPe	2.5

#### **Polychlorobiphényles (PCB)**

Aucune émission n'est estimée pour ce secteur.

#### **Hexachlorobenzène (HCB)**

Aucune émission n'est estimée pour ce secteur.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
18/01/2024	MJ	16/02/2024	EM

## TERRES CULTIVEES (CROPLAND)

Cette section concerne les émissions/absorptions par les terres cultivées liées à l'utilisation ou au changement d'utilisation de ces terres. Les émissions liées aux pratiques agricoles (émissions azotées liées à l'épandage de fertilisants, particules liées au travail du sol, etc.) sont prises en compte dans les sections relatives à l'agriculture et ne sont pas comptabilisées dans cette section. Deux types de terres cultivées sont distingués : les terres cultivées établies depuis plus de 20 ans (terres cultivées restant terres cultivées) et les terres cultivées issues d'un changement d'usage d'une terre sur la période de 20 ans précédant l'année d'inventaire considérée (terres devenant terres cultivées).

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	4B
CEE-NU / NFR	NFR mémo hors total national
SNAPc (extension CITEPA)	11.32.01 à 11.32.16
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Surfaces	Données spécifiques nationales

### Niveau de méthode :

*Se référer à la section UTCATF-Général - Description du secteur.*

### Références utilisées :

- [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
- [294] GUENTHER A-B - Seasonal and spatial variation in natural volatile organic compound emissions. Ecological Application, 1997, vol. 7, pp 34-45
- [485] MAAF / SSP - Résultats des Enquêtes Pratiques Culturelles 1994, 2001, 2006, 2011 et 2017
- [424] INRA INFOSOL - Données issues du réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS), 2009
- [672] GIEC 2006 - Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, Vol 4.
- [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.
- [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
- [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).
- [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>

## Caractéristiques de la catégorie (NIR) :

### Définitions

#### Définition de « terres cultivées » et sous-catégories

La catégorie des « terres cultivées », ou « Cultures », comprend les terres cultivées et labourées, les prairies temporaires et les jachères, ainsi que les parcelles en agroforesterie pour lesquelles la définition de forêt ne s'applique pas.

Cette catégorie comprend les sous-catégories suivantes :

- Les cultures annuelles, légumes et fleurs (céréales, racines et tubercules, cultures industrielles, légumes secs, légumes frais, fleurs).
- Les cultures permanentes qui restent en place pendant plus d'une campagne agricole (arbres fruitiers, baies, vignes, oliviers, pépinières, etc.).
- Les prairies temporaires et jachères (une prairie est dite temporaire lorsque le semis date d'au maximum 5 ans lors de l'enquête ce qui représente un maximum de 6 récoltes).

Tableau 173 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Terres Cultivées

Niveau 1 (usage général)		Niveau 2 (usage précis)		Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul	
1	Agricole	10	Agricole à définir	100	Agricole indéfini
		11	Cultures annuelles, légumes et fleurs	110	Cultures annuelles, légumes et fleurs indéfinies
				11bh	Blé tendre d'hiver
				11bp	Blé tendre de printemps
				11dh	Blé dur d'hiver

			11dp	Blé dur de printemps
			11cz	Colza
			11ah	Avoine d'hiver
			11ap	Avoine de printemps
			11lf	Légumes ou fleurs
			11be	Betterave industrielle
			11cf	Choux, racines et tubercules fourragers
			11ci	Autres cultures industrielles
			11ls	Légumes secs
			11mf	Maïs fourrage
			11mg	Maïs grain
			11oh	Orge d'hiver
			11op	Orge de printemps
			11xc	Autres céréales
			11pf	Plantes à fibres
			11pg	Pois protéagineux
			11pm	Pomme de terre
			11sh	Seigle d'hiver
			11so	Sorgho
			11sp	Seigle de printemps
			11th	Triticale d'hiver
	11to	Tournesol		
	11tp	Triticale de printemps		
	11xf	Autres fourrages annuels		
	11xo	Autres oléagineux		
	11xp	Autres protéagineux		
	12	Cultures permanentes	120	Cultures permanentes indéfinies
			12vi	Vignes
			12ol	Oliveraies
			12cq	Fruits à coque
			12af	Autres arbres fruitiers
	13	Prairies temporelles et jachères	12cp	Autres cultures permanentes
			130	Prairies temporaires et jachères indéfinies
13pa			Prairies artificielles	
13pt			Prairies temporaires	
13jh			Jachères	

### Définition de « terres cultivées gérées» (managed cropland)

Dans le cadre du règlement européen 2018/841 dit LULUCF, pour la première période de rapportage (2021-2025), les « terres cultivées gérées » correspondent aux terres cultivées restant terres cultivées ; aux prairies, zones humides, établissements ou autres terres, convertis en terres cultivées ; et aux terres cultivées converties en zones humides, établissements ou autres terres.

### Définition de « terres cultivées restant terres cultivées » et « terres devenant terres cultivées »

La catégorie des terres cultivées restant terres cultivées est une catégorie utilisée pour le rapportage. Elle correspond, par convention, aux surfaces classées en dans la catégorie « Cultures » l'année N et l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec). Dans les faits, cela inclut des terres qui ont pu changer d'usage et redevenir Cultures.

La catégorie des terres devenant terres cultivées correspond à l'ensemble des terres en Cultures l'année N mais dans une autre catégorie l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec).

## Méthode générale d'estimation des émissions (NIR):

### Approche et données

#### Approche générale

Les flux de carbone sont estimés en deux temps :

1. Dans un premier temps, la routine du modèle de variation de stock par maille estime, pour chaque année, et chaque compartiment, les flux par variation du stock :
  - pour tous les compartiments, en fonction des changements d'usage (y compris les changements entre sous-catégories d'une même catégorie Giec, par exemple entre blé et vigne) ;
  - pour le compartiment des sols minéraux, en fonction des changements de pratique (en plus des changements d'usage).
2. Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée, d'autres flux de carbone sont ajoutés : flux complémentaires liés à la biomasse ligneuse type forêt (récolte de bois hors forêt...) ; sols organiques drainés ; etc.

#### Données

Pour rappel, le modèle de variation de stock à la maille est décrit dans la partie *UTCATF général*. Le tableau suivant rappelle les stocks de référence pour les sous-catégories de terres cultivées. Ces valeurs étaient déjà présentées par compartiment dans la partie UTCATF général, s'y référer pour avoir les sources de l'ensemble des données.

Tableau 174 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de terres cultivées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

tC/ha	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Cultures annuelles	0	0	0	0	3,6	0	0	0	56,1 [34,7 ; 86,6]
Cultures permanentes indéfinies	0	0	2,75	2,2	0	0	0	0	54,1 [33,2 ; 67,4]
Fruitiers	0	0	8,5	5,8	0	0	0	0	54,1 [33,2 ; 67,4]
Autres cultures permanentes	46 [14 ; 79]	13 [4 ; 23]	0	0	0	0,2	4 [0 ; 9]	9	54,1 [33,2 ; 67,4]
Oliveraies	0	0	9,1	2,6	0	0	0	0	54 [33 ; 67]
Vignes	0	0	5,5	4,4	0	0	0	0	54 [33 ; 67]
Prairies temporaires et jachères	0	0	0	0	3,6	0	0	0	76 [45 ; 97]

moyenne [min, max]

Les deux tableaux suivants décrivent les gains et les pertes utilisés par le modèle. Il est important de noter que les flux de gains et de pertes sont des flux maximums à appliquer lors de la conversion d'une maille en terres cultivées (ou entre sous-catégories de terres cultivées). Il s'agit de :

- *gains maximums annuels de référence* à appliquer à la maille devenue terres cultivées dans le cas où le stock du compartiment avant la conversion était inférieur au nouveau stock de référence ;
- *pertes maximums annuelles de référence* à appliquer si le stock initial était supérieur.

La notion de « maximum » est utilisée car lorsque le modèle fait converger la maille vers son nouveau stock de référence, il utilise comme incrémentation ces valeurs de flux de référence mais s'arrête exactement au niveau du stock cible. Le flux la dernière année avant l'atteinte de ce stock peut donc être inférieur au flux de référence.

Tableau 175 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de terres cultivées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

<i>tC/ha/an</i>	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Cultures annuelles	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,22
Cultures permanentes indéfinies	0	0	0,14	0,11	3,6	6,3	0	0	1,22
Fruitiers	0	0	0,43	0,29	3,6	6,3	0	0	1,22
Autres cultures permanentes	1,1 [0,4 ; 2]	0,3 [0,1 ; 0,6]	0	0	4	6	0,1 [0 ; 0,23]	0,5	1,22
Oliveraies	0	0	0,46	0,13	3,6	6,3	0	0	1,22
Vignes	0	0	0,28	0,22	3,6	6,3	0	0	1,22
Prairies temporaires et jachères	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,22

moyenne [min, max]

Tableau 176 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de terres cultivées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

<i>tC/ha/an</i>	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Cultures annuelles	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
Cultures permanentes indéfinies	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
Fruitiers	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
Autres cultures permanentes	0	0	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22
Oliveraies	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
Vignes	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
Prairies temporaires et jachères	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22

## TERRES CULTIVEES RESTANT TERRES CULTIVEES

La catégorie « Terres cultivées restant terres cultivées » inclut des terres changeant de sous-catégories, par exemple des conversions entre cultures annuelles, cultures pérennes et prairies temporaires ; et des terres restant dans la même sous-catégorie.

Biomasse vivante (terres cultivées restant terres cultivées) [lb\_f ; lb\_cp ; lb\_ca ; lb\_hh]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les terres cultivées restant terres cultivées, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories (cultures annuelles, cultures pérennes ou prairies temporaires), on estime les pertes et gains de biomasse en différenciant différents types de biomasse : biomasse ligneuse type forêt [lb\_f], biomasse ligneuse type culture pérenne [lb\_cp], biomasse herbacée type culture annuelle [lb\_ca] et biomasse herbacée type herbe [lb\_hh]. En effet, les stocks de référence de carbone dans la biomasse peuvent être différents selon les cas. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF - général*).

Flux estimés en complément [lb\_cp]

Dans les terres cultivées restant terres cultivées, on estime des flux complémentaires pour la croissance nette de la biomasse. L'IFN ne couvrant pas ces terres dans son inventaire, il n'existe pas non plus de données précises sur l'accroissement annuel ou les prélèvements de la biomasse ligneuse des terres cultivées qui permettrait d'appliquer une véritable « méthode des flux » (gains - pertes). Il est donc considéré que l'accroissement compense le prélèvement sur la récolte pour les terres de cette catégorie. La biomasse récoltée est supposée être uniquement à destination du bois de feu laquelle est estimée au travers de statistiques de consommation énergétique (méthode et valeurs décrites dans la section *Biomasse vivante - Forêt restant Forêts, voir tableau Récoltes de bois*). Si le modèle de variation de stock à la maille détecte des pertes de biomasse ligneuse liées aux changements d'usage des terres, ces flux sont déduits des récoltes de bois hors forêt. Le flux final (récoltes moins volume issu des changements d'usage) permet d'estimer les récoltes en cultures restant cultures. Ce flux est affecté à la catégorie vergers, et des gains du même ordre sont appliqués pour la repousse.

Du brûlage de résidus est associé à la récolte de bois énergie en vignes et vergers. Comme pour le brûlage des rémanents en forêt, celui-ci génère différents gaz à effet de serre directs et indirects, ainsi que des polluants (N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CO et CH<sub>4</sub>) en plus du CO<sub>2</sub>. Ces émissions sont estimées à partir des facteurs d'émission du GIEC 2006 (*voir équation 24 forêts*).

Des flux de carbone dans la biomasse liés à l'évolution du linéaire de haies en cultures sont pris en compte. La méthodologie est décrite dans la section *UTCATF - général*.

Bois mort (terres cultivées restant terres cultivées) [dw]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les terres cultivées restant terres cultivées, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories (cultures annuelles, cultures pérennes ou prairies temporaires), on estime les pertes et gains de bois mort. En effet, les stocks de référence de carbone dans le bois mort peuvent être différents selon les sous-catégories. Ils sont nuls pour la plupart des sous-catégories des Terres cultivées. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF - général*). Les stocks et flux de référence ont été rappelés en début de section.

Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire pour ce compartiment.

Litière (terres cultivées restant terres cultivées) [lt]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les terres cultivées restant terres cultivées, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories (cultures annuelles, cultures pérennes ou prairies temporaires), on estime les pertes et gains de litière. En effet, les stocks de référence de carbone dans la litière peuvent être différents selon les cas. Ils sont nuls pour la plupart des sous-catégories des Terres cultivées. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF - général). Les stocks et flux de référence ont été rappelés en début de section.

### Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire pour ce compartiment.

### Matière organique du sol (terres cultivées restant terres cultivées) - sols minéraux [s\_min]

#### Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les terres cultivées restant terres cultivées, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories (cultures annuelles, cultures pérennes ou prairies temporaires), on estime les variations de stocks de carbone dans les sols minéraux. Les stocks de référence de carbone dans les sols minéraux varient selon les sous-catégories et selon l'année.

La méthode détaillée sur l'estimation des stocks de carbone dans les sols se trouve en section UTCATF générale. Le stock de référence pour la calibration du modèle se base sur l'équation suivante :

Équation 31 (UTCATF)  
inspirée de l'équation 2.25 du GIEC 2006 [672]

$$COS_{X,n} = COS_{REF} * F_{UT,X} * \sum_i^n \%_{RG_{i,X,n}} * F_{RG_i} * \sum_i^n \%_{A_{i,X,n}} * F_{A_i}$$

Avec :

$COS_X$  = Stock de carbone du sol pour une catégorie d'usage X, pour l'année n, tC

$COS_{REF}$  = Stock de carbone de référence spécifique à la zone pédoclimatique, tC/ha

$F_{UTX}$  = Facteur de variation de stock lié à l'utilisation des terres spécifique à la catégorie X et à la zone climatique

$F_{RGi}$  = Facteur de variation de stock lié au régime de gestion i (travail du sol principalement) lié à la zone climatique

$F_A$  = Facteur de variation de stock lié aux apports (organiques principalement) lié à la zone climatique

$\%_{RG_{i,X,n}}$  = Part du régime de gestion i issu des pratiques culturales pour la catégorie d'usage X, l'année n

$\%_{A_{i,X,n}}$  = Part du régime d'apport i issu des pratiques culturales pour la catégorie d'usage X, l'année n

Les stocks de référence dans les sols minéraux varient selon l'année car ils sont issus d'une modulation d'un stock de référence ( $COS_{REF}$ ) par l'occupation du sol et les pratiques culturales. Les variations de stock liées aux changements de pratiques agricoles (travail du sol, type et quantité d'apport) sont estimées conformément aux lignes directrices 2006 et au raffinement 2019 du Giec [672, 1229]. Les facteurs issus du raffinement 2019 [1229] sont appliqués sur la base des données issues des enquêtes Pratiques culturales disponibles pour les années 1994, 2001, 2006, 2011 et 2017 [485]. Pour chaque classe d'occupation du sol (ex. 11bh blé tendre d'hiver), des données de pratiques sont disponibles et permettent

d'affiner le stock cible du modèle de variation de stock par maille chaque année. Elles ne sont pas disponibles par région pour l'ensemble de la série temporelle, les tendances nationales sont donc utilisées. Une série temporelle du stock de référence pour le compartiment sols minéraux [s\_min] est estimée pour chaque sous-catégorie d'usage.

#### Choix du paramètre de stock de référence (COS<sub>REF</sub>)

Le paramètre COS<sub>REF</sub> choisi correspond à la moyenne entre la médiane des stocks forestiers et des stocks sous prairies régionaux issus du RMQS [424] (pondérés par le nombre de relevés). Il varie par zone pédoclimatique. Ils sont référencés en section UTCATF générale.

#### Catégorisation selon le facteur d'utilisation des terres (F<sub>UT</sub>)

Le paramètre F<sub>UT</sub> est issu du raffinement 2019 du Giec [1229], et varie selon la zone climatique dans laquelle se trouve la maille. Le facteur est différent pour les cultures annuelles, les cultures pérennes et les jachères. Ils sont référencés en section UTCATF générale.

#### Catégorisation selon le facteur lié au travail du sol (F<sub>RG</sub>)

Le paramètre F<sub>RG</sub> est issu du raffinement 2019 du Giec [1229], et varie selon la zone climatique dans laquelle se trouve la maille. Ses valeurs sont référencées en section UTCATF générale.

Le travail du sol est un des paramètres les plus importants pour l'estimation des flux de carbone des sols en France. En effet le travail du sol influe fortement les stocks de carbone du sol selon le GIEC et les pratiques associées ont significativement évolué durant la période couverte par l'inventaire avec une forte diminution du labour au profit des techniques culturales simplifiées.

En termes de travail du sol, trois modalités ont été identifiées en lien avec les facteurs correcteurs proposés par le GIEC : le labour, les techniques culturales simplifiées (TCS) et le semis direct (Semis d.). La part de chaque régime de gestion pour les différentes catégories de cultures est estimée à partir des enquêtes Pratiques culturales du Ministère de l'Agriculture disponibles pour les années 1994, 2001, 2006, 2011 et 2017 [485]. Ces données concernent les cultures principales en France.

Tableau 177 : Part du régime de gestion (%RG<sub>i,x</sub>) issu des pratiques culturales pour les différents types de cultures [485]

		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.

#### Catégorisation selon le facteur lié aux apports ( $F_A$ )

Les apports (intrants) sont un paramètre clé dans l'estimation des variations du carbone du sol. Il s'agit en premier lieu des apports organiques mais les engrais minéraux peuvent également être intégrés car la fertilisation permet d'augmenter la production de biomasse et donc potentiellement les retours de carbone au sol.

Le paramètre  $F_A$  est issu du raffinement 2019 du Giec [1229], et varie selon la zone climatique dans laquelle se trouve la maille. Ses valeurs sont référencées en section *UTCATF générale*.

Le GIEC propose de caractériser le niveau d'apport selon quatre modalités qualitatives : apports faibles, apports moyens, apports élevés sans fumier, apports élevés avec fumier. Pour caractériser les surfaces de culture selon ce gradient, trois paramètres ont pu être exploités au niveau français : le taux de retour des résidus de culture au sol, l'apport de fumure organique et la présence d'une culture intermédiaire durant l'interculture.

Le taux de retour des résidus au sol a pu être pris en compte grâce aux enquêtes 2001, 2006 et 2011. Le devenir des résidus de la culture précédente étant connu (résidus récoltés, brûlés, laissé sur place), des valeurs pour les années 2000, 2005 et 2010 ont pu être estimées.

De même 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 178 : 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	OUI	NON		X		
		OUI	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 179 : Part du régime d'apport (%A<sub>i,x</sub>) issu des pratiques culturales pour les différents types de cultures [485]

		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.

On estime donc pour chaque type de culture une série temporelle de stock de carbone dans le sol à partir du stock de référence, du facteur utilisation des terres  $F_{UT}$  et de l'évolution de la part des régimes de gestion et d'apports associées aux facteurs de  $F_{RG}$  et  $F_A$ . La figure ci-dessous présente un exemple pour les cultures de blé tendre.

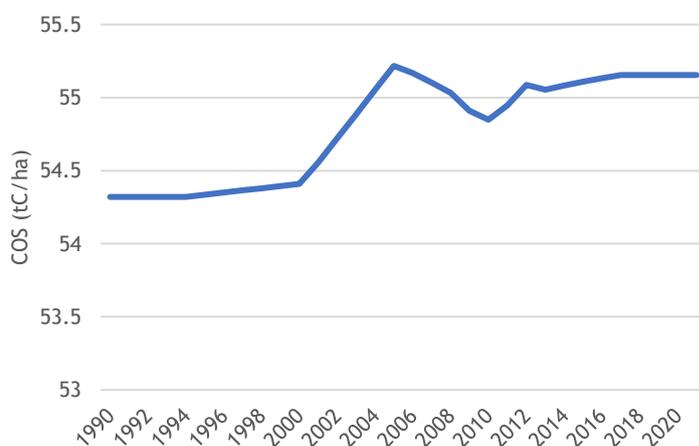


Figure 65 : Exemple d'évolution du stock de référence liés aux pratiques culturales pour les cultures de blé tendre

En Outre-mer, faute de données sur les changements de pratiques, aucune variation de stock de carbone des sols minéraux en cultures restant cultures n'est estimée.

Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire de CO<sub>2</sub> pour ce compartiment.

### **Emissions de N<sub>2</sub>O associées**

L'estimation des émissions *directes* de N<sub>2</sub>O 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-N<sub>2</sub>O/tN. L'estimation des émissions *indirectes* de N<sub>2</sub>O liées à la lixiviation de l'azote libéré lors de la minéralisation du carbone du sol prennent aussi en considération les paramètres de calculs fournis par le Giec (2006), à savoir la fraction lixiviée de 0,3 tN/tN et le facteur d'émission de 0,0075 tN-N<sub>2</sub>O/tN (table 11.3). Néanmoins, comme les terres cultivées sans changement voient leur stock de carbone du sol augmenter, aucune émission de N<sub>2</sub>O 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 CO<sub>2</sub>, de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O 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).

## TERRES DEVENANT TERRES CULTIVEES

### Biomasse vivante (terres devenant terres cultivées) [lb\_f ; lb\_cp ; lb\_ca ; lb\_hh]

Comme pour les terres cultivées restant terres cultivées les flux de biomasse sont estimés par le modèle de variation de stock à la maille. Les stocks et flux de référence sont référencés en début de chapitre. Les flux de gains sont calibrés sur une période de conversion de 20 ans dans la majorité des catégories (la seule exception est la catégorie autres cultures permanentes qui s'apparente à la catégorie forêt mixte avec des dynamiques sur 40 ans). Un stock de biomasse en vignes par exemple prend 20 ans à se constituer s'il est issu d'une catégorie d'usage sans biomasse de type culture pérennes. Les flux de pertes en revanche sont calibrés dans le modèle pour refléter des pertes brutales lors des défrichements (forêts devenant terres cultivées) pour lesquels on utilise une période de 1 an. Les pertes de biomasse de type cultures pérennes se font également sur 1 an (arrachage de vignes par exemple lors d'une conversion vignes vers cultures annuelles).

Les stocks et flux de référence ont été rappelés au début de la partie 4B. *Terres cultivées*. La série temporelle des flux de CO<sub>2</sub> liées aux conversions de terres par sous-catégorie de culture pérenne est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF\_background.xlsx.

Des émissions complémentaires de CH<sub>4</sub>, de N<sub>2</sub>O et de polluants associées au brûlage d'une partie de la biomasse perdue lors d'une déforestation sont estimées, quelle que soit la catégorie finale. La part de la quantité de biomasse brûlée sur site est estimée par hypothèse à 20% avec une fraction oxydée de 90% [199, p.93]. Les émissions associées de CH<sub>4</sub>, de N<sub>2</sub>O et de polluants sont calculées sur la base de cette quantité de carbone de la biomasse brûlée sur site, et de facteurs d'émissions issus du Giec [199] - voir ci-après.

### Bois mort (terres devenant terres cultivées) [dw]

Les variations de stocks du compartiment bois mort pour les terres devenant terres cultivées sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Pour la majorité des sous-catégories, le stock est nul, et les flux de pertes sont calibrés pour déstocker en 1 an le

stock préexistant. Les stocks et flux de référence ont été rappelés au début du chapitre 4B. Terres cultivées.

Litière (terres devenant terres cultivées) [lt]

Les variations de stocks du compartiment litière pour les terres devenant terres cultivées sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Pour la majorité des sous-catégories, le stock est nul, et les flux de pertes sont calibrés pour déstocker en 1 an le stock préexistant. Les stocks et flux de référence ont été rappelés au début du chapitre 4B. Terres cultivées.

Matière organique du sol (terres devenant terres cultivées) - sols minéraux [s-min]

Les variations de stocks du compartiment sols minéraux pour les terres devenant terres cultivées sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Il peut s'agir, selon les cas, d'une émission ou d'une absorption de carbone. La méthode de calcul des flux sur les sols lors des changements d'utilisation des terres est décrite plus en détail dans la partie générique.

S'il s'agit d'une perte de carbone, elle s'accompagne également d'une perte de l'azote contenu dans le sol sous forme de N<sub>2</sub>O (Giec 2006 [672]). Cette émission de N<sub>2</sub>O n'est pas liée à l'utilisation de fertilisants azotés en agriculture mais à la symbiose des cycles de l'azote et du carbone dans les sols. On notera que dans le cas d'une transition inverse (passage d'une terre cultivée vers un autre usage), le gain en carbone n'est pas associé à un puits de N<sub>2</sub>O.

La série temporelle des flux de CO<sub>2</sub> liées aux conversions de terres par sous-catégorie de culture pérenne est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF\_background.xlsx.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Emissions de CO<sub>2</sub> liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone

Les variations de stock des différents compartiments carbone associées aux terres cultivées changeant de sous-catégorie ou aux terres converties en terres cultivées entraînent des flux de CO<sub>2</sub>. Des flux de carbone complémentaires liés aux récoltes de bois et à la repousse associée sont aussi pris en compte. La conversion du flux de C en CO<sub>2</sub> se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12).

Emissions de CO<sub>2</sub> liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions directes et indirectes de CO<sub>2</sub> 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 tCO<sub>2</sub>/ha/an en Métropole et 14t CO<sub>2</sub>/ha/an pour la Guyane ; ainsi que et 0,1 tCO<sub>2</sub>/ha/an dans les deux zones pour les émissions indirectes.

### Emissions de CO<sub>2</sub> liées au brûlage

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées au brûlage sont incluses dans les estimations liées à la variation de stock des différents réservoirs de carbone. Aucune émission supplémentaire n'est calculée.

### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

#### Emissions de CH<sub>4</sub> liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions de CH<sub>4</sub> 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 tCO<sub>2</sub>/ha/an en Métropole et en Guyane.

#### Emissions de CH<sub>4</sub> liées au brûlage

Du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, quelle que soit la catégorie de destination. Des émissions de CH<sub>4</sub> associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,012 tCH<sub>4</sub>/tC [199, table 3A.1.15].

De plus, conformément aux recommandations du GIEC [672], la génération de CH<sub>4</sub> issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois est également prise en compte. Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

#### Emissions de N<sub>2</sub>O liées à la fertilisation (directes et indirectes)

Les émissions de N<sub>2</sub>O liées à la fertilisation des terres agricoles sont intégralement rapportées dans le secteur agriculture.

#### Emissions de N<sub>2</sub>O liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions de N<sub>2</sub>O liées au drainage des sols organiques (histosols) cultivés sont estimées et rapportées dans le secteur Agriculture.

#### Emissions de N<sub>2</sub>O 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 N<sub>2</sub>O liée à la minéralisation de l'azote. Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672]. Ces émissions sont rapportées en UTCATF.

Pour les terres cultivées sans changement d'utilisation des terres, les flux associés à la minéralisation doivent être rapportés dans le secteur Agriculture. Ces flux sont nuls car les terres cultivées restant terres cultivées présentent un puits de carbone au niveau des sols.

#### Emissions de N<sub>2</sub>O liées au brûlage

Du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, quelle que soit la catégorie de destination. Des émissions de N<sub>2</sub>O associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,007 tN<sub>2</sub>O/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50].

De plus, conformément aux recommandations du GIEC [672], la génération de N<sub>2</sub>O issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois est prise en compte (en vignes et vergers). Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Emissions de SO<sub>2</sub> liées au brûlage

Compte tenu des spécificités actuelles du rapportage international, les émissions correspondantes sont négligées.

Emissions de NO<sub>x</sub>, CO

Emissions de NO<sub>x</sub>, CO liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, quelle que soit la catégorie de destination. Des émissions de NO<sub>x</sub> associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,121 tNO<sub>x</sub>/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50]. Des émissions de CO associées à ce brûlage sont aussi estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,06 tCO/tC [199, table 3A.1.15].

#### **Emissions de COVNM**

Emissions de COVNM de la végétation (biotiques)

Les cultures contribuent aux émissions de COVNM (isoprène, mono terpènes et autres COV) dans le total national. Elles sont estimées au moyen d'un modèle d'émission (COBRA) [92] basé sur les équations développées par Günther et al [294] décrit dans la section Agriculture.

Emissions de COVNM liées au brûlage

Quant au brûlage, compte tenu des spécificités actuelles du rapportage international, les émissions correspondantes sont négligées.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
18/01/2024	MJ	16/02/2024	EM

## PRAIRIES (GRASSLAND)

Cette section concerne les émissions / absorptions par les prairies. Deux types de prairies sont distingués : les prairies établies depuis plus de 20 ans (prairies restant prairies) et les prairies issues d'un changement d'usage d'une terre sur la période de 20 ans précédant l'année d'inventaire considérée (terres devenant prairies).

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	4C
CEE-NU / NFR	NFR mémo hors total national
SNAPc (extension CITEPA)	11.33.01 à 11.33.16
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Surfaces	Données spécifiques nationales

### Niveau de méthode :

Se référer à la section UTCATF-Général - Description du secteur.

### Références utilisées :

- [294] GUENTHER A-B - Seasonal and spatial variation in natural volatile organic compound emissions. Ecological Application, 1997, vol. 7, pp 34-45
- [424] INRA INFOSOL - Données issues du réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS), 2009
- [485] MAAF / SSP - Résultats des Enquêtes Pratiques Culturelles 2001, 2006, 2011 et 2017
- [672] GIEC 2006 - Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, Vol. 4.
- [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.
- [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
- [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)
- [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>

## Caractéristiques de la catégorie (NIR) :

### Définitions

#### Définition de « Prairie » et sous-catégories

La catégorie des « Prairies » est la traduction de la catégorie « Grassland » du Giec. Cette catégorie ne correspond pas à la définition usuelle du terme « prairies » en français : elle inclut les superficies en herbe et des surfaces arborées ou recouvertes d'arbustes qui ne correspondent pas à la définition de la forêt et ne rentrent pas dans les catégories culture ou zone artificialisée.

Cette catégorie comprend les sous-catégories suivantes :

- Prairies permanentes. Il s'agit des zones couvertes d'herbe d'origine naturelle ou qui ont été semées il y a plus de 5 ans (contrairement aux prairies temporaires comptées en terres cultivées).
- Végétation naturelle et semi-naturelle hors forêt (Bosquet (surface boisée < 0,5 ha) ; Landes, clairières, broussailles ; Maquis, garrigues ; Alpagnes, pelouses naturelles ; Prairies arbustives).

Ces classes d'occupation du sol se distinguent par des différences de présence et densité de biomasse (strate arborée, arbustive et herbacée) : leur stock de carbone dans la biomasse et dans les sols est donc différent.

Tableau 180: Extrait de la nomenclature pour la catégorie Prairies

Niveau 1 (usage général)		Niveau 2 (usage précis)		Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul	
1	Agricole	14	Prairies permanentes	14pp	Prairies permanentes
2	Végétation naturelle et semi-naturelle	22	Végétation naturelle hors forêt	220	Végétation naturelle hors forêt indéfinie
				22bq	Bosquet
				22la	Landes, clairières, broussailles
				22mq	Maquis, garrigues
				22pe	Alpagnes, pelouses naturelles

#### Définition de « prairies gérées » (managed grassland)

Dans le cadre du règlement européen 2018/841 dit LULUCF, pour la première période de rapportage (2021-2025), les « prairies gérées » correspondent aux prairies restant prairies ; terres cultivées, zones humides, établissements ou autres terres, convertis en prairies ; et prairies converties en zones humides, établissements ou autres terres.

#### Définition de « prairies restant prairies » et « terres devenant prairies »

La catégorie des prairies restant prairies est une catégorie utilisée pour le rapportage. Elle correspond, par convention, aux surfaces classées en dans la catégorie « Prairies » l'année N et l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec). Dans les faits, cela inclut des terres qui ont pu changer d'usage et redevenir Prairies.

La catégorie des terres devenant Prairies correspond à l'ensemble des terres en Prairie l'année N mais dans une autre catégorie l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec).

## Méthode générale d'estimation des émissions (NIR) : Approche et données

### Approche générale

Les flux de carbone sur l'ensemble des terres sont estimés en deux temps :

3. Dans un premier temps, la routine du modèle de variation de stock par maille estime, pour chaque année, et chaque compartiment, les flux par variation du stock :
  - pour tous les compartiments, en fonction des changements d'usage (y compris les changements entre sous-catégories d'une même catégorie Giec) ;
  - pour le compartiment des sols minéraux, en fonction des changements de pratique (en plus des changements d'usage).
4. Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée, d'autres flux de carbone sont ajoutés : flux complémentaires liés à la biomasse ligneuse type forêt (récolte de bois hors forêt...) ; sols organiques drainés ; etc.

### Données

Pour rappel, le modèle de variation de stock à la maille est décrit dans la partie *UTCATF général*. Le tableau suivant rappelle les stocks et flux de référence pour les sous-catégories de prairies. Ces valeurs étaient déjà présentées par compartiment dans la partie UTCATF général, s'y référer pour avoir les sources de l'ensemble des données.

Tableau 181 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de prairies, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

tC/ha	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Prairies permanentes	0	0	0	0	0	6,3	0	0	78,6 [48,3 ; 97]
Végétation naturelle indéfinie	46 [14 ; 79]	13 [4 ; 23]	0	0	0	1,0	4 [0 ; 9]	9	77,2 [47,6 ; 94,8]
Bosquet	46 [14 ; 79]	13 [4 ; 23]	0	0	0	0,2	4 [0 ; 9]	9	77,2 [47,6 ; 94,8]
Landes, clairières, broussailles	4	6	0	0	0	1,0	0	0	77,2 [47,6 ; 94,8]
Maquis, garrigues	8	11	0	0	0	0	0	0	77 [48 ; 95]
Alpages, pelouses naturelles	0	0	0	0	0	2	0	0	77 [48 ; 95]

moyenne [min, max]

Les deux tableaux suivants décrivent les gains et les pertes utilisés par le modèle. Il est important de noter que les flux de gains et de pertes sont des flux maximums à appliquer lors de la conversion d'une maille en prairies (ou entre sous-catégories de prairies). Il s'agit de :

- *gains maximums annuels de référence* à appliquer à la maille devenue prairies dans le cas où le stock du compartiment avant la conversion était inférieur au nouveau stock de référence ;
- *pertes maximums annuelles de référence* à appliquer si le stock initial était supérieur.

La notion de « maximum » est utilisée car lorsque le modèle fait converger la maille vers son nouveau stock de référence, il utilise comme incrémentation ces valeurs de flux de référence mais s'arrête

exactement au niveau du stock cible. Le flux la dernière année avant l'atteinte de ce stock peut donc être inférieur au flux de référence.

Tableau 182 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de prairies, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

<i>tC/ha/an</i>	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Prairies permanentes	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,22
Végétation naturelle indéfinie	1,1 [0,4 ; 2]	0,3 [0,1 ; 0,6]	0	0	3,6	6,3	0,1 [0 ; 0,23]	0,45	1,22
Bosquet	1,1 [0,4 ; 2]	0,3 [0,1 ; 0,6]	0	0	3,6	6,3	0,1 [0 ; 0,23]	0,45	1,22
Landes, clairières, broussailles	0,2	0,3	0	0	3,6	6,3	0	0	1,22
Maquis, garrigues	0,4	0,5	0	0	3,6	6,3	0	0	1,22
Alpages, pelouses naturelles	0,0	0,0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,22

*moyenne [min, max]*

Tableau 183 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de prairies, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

<i>tC/ha/an</i>	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Prairies permanentes	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
Végétation naturelle indéfinie	0	0	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22
Bosquet	0	0	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22
Landes, clairières, broussailles	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
Maquis, garrigues	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
Alpages, pelouses naturelles	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22

## PRAIRIES RESTANT PRAIRIES

La catégorie « Prairies restant prairies » inclut des terres changeant de sous-catégories, par exemple des conversions entre prairies permanentes et végétation hors forêt ; et des terres restant dans la même sous-catégorie.

Biomasse vivante (prairies restant prairies) [lb\_f ; lb\_cp ; lb\_ca ; lb\_hh]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les prairies restant prairies, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de biomasse en différenciant différents types de biomasse : biomasse ligneuse type forêt [lb\_f], biomasse ligneuse type culture pérenne [lb\_cp], biomasse herbacée type culture annuelle [lb\_ca] et biomasse herbacée type herbe [lb\_hh]. En effet, les stocks de référence de carbone dans la biomasse peuvent être différents selon les cas. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF - général).

Flux estimés en complément

Dans les prairies restant prairies, on estime des flux complémentaires pour la croissance nette de la biomasse. L'IFN ne couvrant pas ces terres dans son inventaire, il n'existe pas non plus de données précises sur l'accroissement annuel ou les prélèvements de la biomasse ligneuse des prairies qui permettrait d'appliquer une véritable « méthode des flux » (gains - pertes). Il est donc considéré que l'accroissement compense le prélèvement sur la récolte pour les terres de cette catégorie. La biomasse récoltée est supposée être uniquement à destination du bois de feu laquelle est estimée au travers de statistiques de consommation énergétique (méthode et valeurs décrites dans la section *Biomasse vivante - Forêt restant Forêts, voir tableau Récoltes de bois*). Si le modèle de variation de stock à la maille détecte des pertes de biomasse ligneuse liées aux changements d'usage des terres, ces flux sont déduits des récoltes de bois hors forêt. Le flux final (récoltes moins volume issu des changements d'usage) permet d'estimer les récoltes en prairies restant prairies. Ces flux sont affectés aux catégories de prairies arbustives, et des gains du même ordre sont appliqués pour la repousse. De la même façon, si des pertes sont considérées en lien avec les feux de forêt en prairies arbustives, une repousse est prise en compte, pendant 20 ans, pour reconstituer les stocks détruits.

Du brûlage de résidus est associé à la récolte de bois énergie en prairies arbustives. Comme pour le brûlage des rémanents en forêt, celui-ci génère différents gaz à effet de serre directs et indirects, ainsi que des polluants (N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CO et CH<sub>4</sub>) en plus du CO<sub>2</sub>. Ces émissions sont estimées à partir des facteurs d'émission du GIEC 2006 (voir équation 24 - Forêts).

Des flux de carbone dans la biomasse liés à l'évolution du linéaire de haies en prairies sont pris en compte. La méthodologie est décrite dans la section *UTCATF - général*.

#### Bois mort (prairies restant prairies) [dw]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les prairies restant prairies, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de bois mort. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF - général*). En effet, les stocks de référence de carbone dans le bois mort peuvent être différent selon les cas. Les stocks et flux de référence ont été rappelés en début de section.

Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire pour ce compartiment.

#### Litière (prairies restant prairies) [lt]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les prairies restant prairies, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de litière. En effet, les stocks de référence de carbone dans le bois mort peuvent être différent selon les cas. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF - général*). Les stocks et flux de référence ont été rappelés en début de section.

Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire pour ce compartiment.

#### Matière organique du sol (prairies restant prairies) - sols minéraux [s\_min]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les prairies restant prairies, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les variations de stocks de carbone dans les sols minéraux. En effet, les stocks de référence de carbone dans les sols minéraux peuvent être différents selon les sous-catégories et selon l'année.

Pour la sous-catégorie « Prairies permanentes » (sur le même principe que pour la catégorie Terres cultivées), les stocks de référence dans les sols minéraux varient selon l'année car ils sont issus d'une modulation d'un stock de référence ( $COS_{REF}$ ) par l'occupation du sol et les pratiques culturales. Les variations de stock liées aux changements de pratiques agricoles (niveau de dégradation de la prairie, niveau d'apports) sont estimées conformément aux lignes directrices 2006 et au raffinement 2019 Giec [672, 1229]. Les facteurs issus du raffinement 2019 [1229] sont appliqués sur la base des données issues des enquêtes Pratiques culturales disponibles pour les années 1994, 2001, 2006, 2011 et 2017 [485]. Les données de pratiques permettent d'affiner le stock cible du modèle de variation de stock par maille chaque année pour la catégorie prairies permanentes. Elles ne sont pas disponibles par région pour l'ensemble de la série temporelle, les tendances nationales sont donc utilisées. Une série temporelle du stock de référence pour le compartiment sols minéraux [ $s_{min}$ ] est estimée pour chaque sous-catégorie d'usage.

Comme pour les terres cultivées, le stock de référence pour la calibration du modèle se base sur l'équation ci-dessous. La méthode détaillée sur l'estimation des stocks de carbone dans les sols se trouve en section UTCATF générale.

Équation 32 (UTCATF)  
inspirée de l'équation 2.25 du GIEC 2006 [672]

$$COS_n = COS_{REF} * F_{UT} * \sum_i^n \%_{RG_{i,n}} * F_{RG_i} * \sum_i^n \%_{A_{i,n}} * F_{A_i}$$

Avec :

$COS_n$  = Stock de carbone du sol des prairies, pour l'année n, tC

$COS_{REF}$  = Stock de carbone de référence spécifique à la zone pédoclimatique, tC/ha

$F_{UT}$  = Facteur de variation de stock lié à l'occupation du sol prairies (=1)

$F_{RG_i}$  = Facteur de variation de stock lié au régime de gestion i (travail du sol principalement) lié à la zone climatique

$F_A$  = Facteur de variation de stock lié aux apports lié à la zone climatique

$\%_{RG_{i,n}}$  = Part du régime de gestion i issu des pratiques culturales pour les prairies, l'année n

$\%_{A_{i,n}}$  = Part du régime d'apport i issu des pratiques culturales pour les prairies, l'année n

### Choix du paramètre de stock de référence ( $COS_{REF}$ )

Le paramètre  $COS_{REF}$  choisi correspond à la moyenne entre la médiane des stocks forestiers et des stocks sous prairies régionaux issus du RMQS [424] (pondérés par le nombre de relevés). Il varie par zone pédoclimatique. Ils sont référencés en section UTCATF générale.

### Catégorisation selon le facteur d'utilisation des terres ( $F_{UT}$ )

Le paramètre  $F_{UT}$  est toujours égal à 1 pour les prairies permanentes, conformément aux lignes directrices du Giec [672, 1229].

### Catégorisation selon le facteur lié à la gestion et aux apports ( $F_{RG} \times F_A$ )

En termes de gestion, cinq modalités graduelles ont été définies par le GIEC : prairie non dégradée, prairies surpâturées, prairies sévèrement dégradées et prairies améliorées. En termes d'apports, seule la catégorie de gestion prairies améliorées est subdivisée en deux niveaux d'apports possibles (moyens ou élevés).

Les enquêtes pratiques culturales 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 changées 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 184 : Protocole d'allocation entre les catégories GIEC

Fertilisation minérale ?	Fumure organique ?	Prairie				
		Sévèrement dégradée	Surpâturée	Non dégradée	Améliorée apports moyens	Améliorée apports élevés
<50 kgN/ha/an	OUI				X	
	NON		X			
Entre 50 et 100 kgN/ha/an	NON			X		
Supérieure à 100 kgN/ha/an	NON				X	

Grâce à ce protocole d'allocation les terres ont pu être réparties selon les catégories GIEC de la manière suivante.

Tableau 185 : Part du régime de gestion et d'apport issu des pratiques culturales pour les prairies [485]

	Prairie				
	Sévèrement dégradée	Surpâturée	Non dégradée	Améliorée apports moyens	Améliorée apports élevés
1990	0%	27%	40%	33%	0%
1998	0%	20%	50%	30%	0%
2006	0%	22%	50%	29%	0%
2011	0%	29%	40%	31%	0%
2017	0%	34%	31%	35%	0%

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.

La série temporelle obtenue pour l'évolution du stock de référence en prairies permanentes est la suivante :

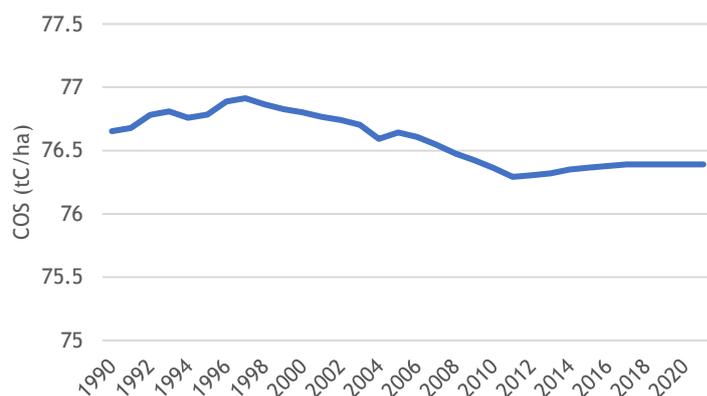


Figure 66 : Evolution du stock de référence liés aux pratiques culturales pour les prairies

En Outre-mer, faute de données sur les changements de pratiques, aucune variation de stock de carbone des sols minéraux en prairies restant prairies n'est estimée.

#### Flux estimés en complément

Des émissions de  $N_2O$  (protoxyde d'azote) associées à la minéralisation de l'azote lors d'une perte de carbone du sol sont estimées et calculées en cohérence avec les pertes de carbone estimées pour les Prairies restant prairies. L'estimation des émissions directes de  $N_2O$  liées à la minéralisation du carbone du sol se base sur les valeurs par défaut fournies par le Giec 2006 (eq. 11.8) pour le ratio C/N (15), et le facteur d'émission de 0,01 tN- $N_2O$ /tN. L'estimation des émissions indirectes de  $N_2O$  liées à la lixiviation de l'azote libéré lors de la minéralisation du carbone du sol prennent aussi en considération les paramètres de calculs fournis par le Giec (2006), à savoir la fraction lixiviée de 0,3 tN/tN et le facteur d'émission de 0,0075 tN- $N_2O$ /tN (table 11.3).

#### Matière organique du sol (prairies restant prairies) - sols organiques [s\_org]

Les sols organiques en prairie génèrent des émissions de  $CO_2$ , de  $CH_4$  et de  $N_2O$  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).

## TERRES DEVENANT PRAIRIES

### Biomasse vivante (terres devenant prairies) [lb\_f ; lb\_cp ; lb\_ca ; lb\_hh]

Comme pour les prairies restant prairies les flux de biomasse sont estimés par le modèle de variation de stock à la maille. Les stocks et flux de référence sont référencés en début de section. Les flux de gains sont calibrés sur une période de conversion de 20 ans dans la majorité des catégories, à l'exception des catégories bosquets et végétation naturelle indéfinie qui sont assimilées à la catégorie forêt mixte, avec des dynamiques sur 40 ans. Un stock de biomasse en maquis par exemple prend 20 ans à se constituer s'il est issu d'une catégorie d'usage sans biomasse de type forêt. Les flux de pertes en revanche sont calibrés dans le modèle pour refléter des pertes abrutées lors des défrichements (forêts devenant prairies) pour lesquels on utilise une période de 1 an. Les pertes de biomasse de type cultures pérennes se font également sur 1 an (arrachage de vignes par exemple lors d'une conversion vignes vers prairies).

Les stocks et flux de référence ont été rappelés au début de la partie 4C. *Prairies*.

La série temporelle des flux de CO<sub>2</sub> liées aux conversions de terres par sous-catégorie de prairies est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF\_background.xlsx.

Des émissions complémentaires de CH<sub>4</sub>, de N<sub>2</sub>O et de polluants associées au brûlage d'une partie de la biomasse perdue lors d'une déforestation sont estimées, qu'elle que soit la catégorie finale. La part de la quantité de biomasse brûlée sur site est estimée par hypothèse à 20% avec une fraction oxydée de 90% [199, p.93]. Les émissions associées de CH<sub>4</sub>, de N<sub>2</sub>O et de polluants sont calculées sur la base de cette quantité de carbone de la biomasse brûlée sur site, et de facteurs d'émissions issus du Giec [199] - voir ci-après.

### Bois mort (terres devenant prairies) [dw]

Les variations de stocks du compartiment bois mort pour les terres devenant prairies sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Pour la majorité des sous-catégories, le stock est nul, et les flux de pertes sont calibrés pour déstocker en 1 an le stock préexistant. Les stocks et flux de référence ont été rappelés au début de la section.

### Litière (terres devenant prairies) [lt]

Les variations de stocks du compartiment litière pour les terres devenant prairies sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Pour la majorité des sous-catégories, le stock est nul, et les flux de pertes sont calibrés pour déstocker en 1 an le stock préexistant. Les stocks et flux de référence ont été rappelés au début de la section.

### Matière organique du sol (terres devenant prairies) - [s-min]

Les variations de stocks du compartiment sols minéraux pour les terres devenant prairies sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Il peut s'agir, selon les cas, d'une émission ou d'une absorption de carbone. La méthode de calcul des flux sur les sols lors des changements d'utilisation des terres est décrite plus en détail dans la partie générique.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Emissions de CO<sub>2</sub> liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone

Les variations de stock des différents compartiments carbone associées aux prairies changeant de sous-catégorie ou aux terres converties en prairies entraînent des flux de CO<sub>2</sub>. Des flux de carbone complémentaires liés aux récoltes de bois et à la repousse associée sont aussi pris en compte. La conversion du flux de C en CO<sub>2</sub> se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12).

Emissions de CO<sub>2</sub> liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions directes et indirectes de CO<sub>2</sub> 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 tCO<sub>2</sub>/ha/an en Métropole et 9,6 t CO<sub>2</sub>/ha/an pour la Guyane ; ainsi que et 0,1 tCO<sub>2</sub>/ha/an dans les deux zones pour les émissions indirectes.

Emissions de CO<sub>2</sub> liées au brûlage

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées au brûlage sont incluses dans les estimations liées à la variation de stock des différents réservoirs de carbone. Aucune émission supplémentaire n'est calculée.

### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Emissions de CH<sub>4</sub> liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions de CH<sub>4</sub> liées au drainage ou à la remise en eau de prairies sont actuellement négligées dans l'inventaire français.

Emissions de CH<sub>4</sub> liées au brûlage

Du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de CH<sub>4</sub> associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,012 tCH<sub>4</sub>/tC [199, table 3A.1.15].

De plus, conformément aux recommandations du GIEC [672], la génération de CH<sub>4</sub> issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois est également prise en compte (en prairies arbustives). Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Emissions de N<sub>2</sub>O liées à la fertilisation (directes et indirectes)

Les émissions de N<sub>2</sub>O liées à la fertilisation des terres agricoles sont intégralement rapportées dans le secteur agriculture.

Emissions de N<sub>2</sub>O liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions liées au drainage ou à la remise en eau sont actuellement négligées dans l'inventaire français.

### Emissions de N<sub>2</sub>O liées à la minéralisation des sols

Des émissions de N<sub>2</sub>O liées à la minéralisation des sols, lors d'une perte de carbone, sont estimées.

### Emissions de N<sub>2</sub>O liées au brûlage

Du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de N<sub>2</sub>O associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,007 tN<sub>2</sub>O/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50].

De plus, conformément aux recommandations du GIEC [672], la génération de N<sub>2</sub>O issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois est également prise en compte. Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

#### Emissions de SO<sub>2</sub> liées au brûlage

Compte tenu des spécificités actuelles du rapportage international, les émissions correspondantes sont négligées.

### **Emissions de NO<sub>x</sub>, CO**

#### Emissions de NO<sub>x</sub>, CO liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de NO<sub>x</sub> associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,121 tNO<sub>x</sub>/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50]. Des émissions de CO associées à ce brûlage sont aussi estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,06 tCO/tC [199, table 3A.1.15].

### **Emissions de COVNM**

#### Emissions de COVNM de la végétation (biotiques)

Les prairies contribuent aux émissions de COVNM (isoprène, monoterpènes et autres COV) dans le total national. Elles sont estimées au moyen d'un modèle d'émission (COBRA) [92] basé sur les équations développées par Günther et al [294] décrit dans la section agriculture.

#### Emissions de COVNM liées au brûlage

Quant au brûlage, compte tenu des spécificités actuelles du rapportage international, les émissions correspondantes sont négligées.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
18/01/2024	MJ	16/02/2024	EM

## ZONES HUMIDES (WETLANDS)

Cette section concerne les flux de carbone associés aux zones humides (ou « terres humides »). Au titre de la CCNUCC, les catégories de rapportage des zones humides distinguent d'une part les zones humides restant zones humides et les terres converties en zones humides ; et d'autre part, parmi les zones humides, les tourbières exploitées, les terres inondées, et les autres zones humides.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	4D
CEE-NU / NFR	NFR mémo hors total national
SNAPc (extension CITEPA)	11.34.01 à 11.34.16
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Surfaces	Données spécifiques nationales

### Niveau de méthode :

*Se référer à la section UTCATF-Général - Description du secteur.*

### Références utilisées :

[424] INRA INFOSOL - Données issues du réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS), 2009

[672] GIEC 2006 - Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, Vol. 4.

## Caractéristiques de la catégorie (NIR) :

### Définitions

#### Définition de « terres humides »

La catégorie des « Terres humides », ou zones humides, est la traduction de la catégorie « Wetlands » du Giec. Cette catégorie ne correspond pas exactement à la définition des zones humides de la Convention Ramsar ou utilisée dans d'autres contextes.

Dans le cadre de l'inventaire UTCATF, il s'agit à la fois des zones humides et en eau : terres recouvertes ou saturées d'eau pendant tout ou une partie de l'année et qui n'entrent pas dans l'une des autres catégories (hormis la catégorie "Autres terres"). Cette catégorie exclut donc les sols organiques cultivés ou sous prairie. En effet, des terres en sols organiques peuvent appartenir à différents usages des terres, pas uniquement « Zones humides », même si dans d'autres contextes ces sols organiques sont appelés *zones humides*. Cette catégorie inclut notamment les retenues d'eau, les rivières et les lacs.

Pour le calcul des flux de carbone, l'inventaire distingue les classes d'occupation du sol suivantes : Zone en eau naturelle (mer, océan, lac, rivière...) ; Zone inondée (artificiellement) - bassins, aquaculture, étang de pisciculture, zones de stockage de l'eau ; Tourbières (exploitées ou non) ; Marais salants et Autres zones humides (roselières...).

Tableau 186 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Zones humides

Niveau 1 (usage général)		Niveau 2 (usage précis)		Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul	
4	Autres	41	Zones humides et en eau	410	Zones humides et en eau indéfinies
				41ea	Zone en eau naturelle (mer, océan, lac, rivière...)
				41in	Zone inondée (artificiellement) - bassins, aquaculture, étang de pisciculture, zones de stockage de l'eau
				41tb	Tourbières
				41ms	Marais salants
				41zh	Autres zones humides (roselières...)

#### Définition de « terres humides gérées » (managed wetlands)

Dans le cadre du règlement européen 2018/841 dit LULUCF, pour la seconde période de rapportage (2026-2030), les « zones humides gérées » correspondent aux zones humides restant zones humides ; établissements ou autres terres convertis en zones humide ; et zones humides converties en établissements ou autres terres.

#### Définition de « terres humides restant terres humides » et « terres devenant terres humides »

La catégorie des zones humides restant zones humides est une catégorie utilisée pour le rapportage. Elle correspond, par convention, aux surfaces classées en dans la catégorie « Zones humides » l'année N et l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec). Dans les faits, cela inclut des terres qui ont pu changer d'usage et redevenir Prairies.

La catégorie des terres devenant Prairies correspond à l'ensemble des terres en Prairie l'année N mais dans une autre catégorie l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec).

## Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Approche et données

### Approche générale

Les flux de carbone sur l'ensemble des catégories de terres sont estimés en deux temps :

5. Dans un premier temps, la routine du modèle de variation de stock par maille estime, pour chaque année, et chaque compartiment, les flux par variation du stock pour tous les compartiments, en fonction des changements d'usage (y compris les changements entre sous-catégories d'une même catégorie Giec) ;
6. Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée, d'autres flux de carbone sont ajoutés : sols organiques drainés ; émissions de N<sub>2</sub>O liés à la perte de carbone, etc.

### Données

Pour rappel, le modèle de variation de stock à la maille est décrit dans la partie *UTCATF général*. Le tableau suivant rappelle les stocks de référence pour les sous-catégories de terres humides. Ces valeurs étaient déjà présentées par compartiment dans la partie UTCATF général, s'y référer pour avoir les sources de l'ensemble des données.

Tableau 187 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de terres humides, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

tC/ha	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Zones humides indéfinies, en eau naturelle, zones inondées	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tourbières et autres zones humides	0	0	0	0	0	6,3	0	0	125
Marais salants	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0

moyenne [max, min]

Les deux tableaux suivants décrivent les gains et les pertes utilisés par le modèle. Il est important de noter que les flux de gains et de pertes sont des flux maximums à appliquer lors de la conversion d'une maille en terres humides (ou entre sous-catégories de terres humides). Il s'agit de :

- *gains maximums annuels de référence* à appliquer à la maille devenue terres humides dans le cas où le stock du compartiment avant la conversion était inférieur au nouveau stock de référence ;
- *pertes maximums annuelles de référence* à appliquer si le stock initial était supérieur.

La notion de « maximum » est utilisée car lorsque le modèle fait converger la maille vers son nouveau stock de référence, il utilise comme incrémentation ces valeurs de flux de référence mais s'arrête exactement au niveau du stock cible. Le flux la dernière année avant l'atteinte de ce stock peut donc être inférieur au flux de référence.

Tableau 188 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de terres humides, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

tC/ha/an	Biomasse vivante	Litière
----------	------------------	---------

	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)	Bois mort		Sols minéraux
Zones humides indéfinies, en eau naturelle, zones inondées	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	0
Tourbières et autres zones humides	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	3,1
Marais salants	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,22

Tableau 189 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de terres humides, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

<i>tC/ha/an</i>	Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
	Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
Zones humides indéfinies, en eau naturelle, zones inondées	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-3,2
Tourbières et autres zones humides	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	0
Marais salants	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22

#### ZONES HUMIDES RESTANT ZONES HUMIDES

La catégorie « Zones humides restant zones humides » inclut des terres changeant de sous-catégories, par exemple des conversions entre surfaces en eau et autre zones humides ; et des terres restant dans la même sous-catégorie.

Biomasse vivante (zones humides restant zones humides) [lb\_f ; lb\_cp ; lb\_ca ; lb\_hh]

Les potentiels flux sont estimés par le modèle de variation de stock par mailles. Les flux et stocks de référence sont rappelés en début de section. Dans les zones humides restant zones humides, les stocks de référence pour la biomasse (ligneuse, herbacée) sont presque tous considérés à 0, faute de données suffisante à ce stade pour disposer d'une valeur fiable. Seule la biomasse herbacée a été renseignée avec des valeurs assimilées à des stocks de prairies.

Bois mort et litière (zones humides restant zones humides) [dw ; lt]

Les potentiels flux sont estimés par le modèle de variation de stock par mailles. Dans les zones humides restant zones humides, les stocks de référence pour le bois mort et la litière sont considérés à 0. Aucune variation de stock pour le bois mort et la litière n'est estimée dans les zones humides restant zones humides.

Matière organique du sol (zones humides restant zones humides) - sols minéraux

Tous les sols flux relatifs aux sols sont rapportés dans la catégorie sols organiques.

Matière organique du sol (zones humides restant zones humides) - sols organiques

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Les potentiels flux sont estimés par le modèle de variation de stock par mailles. Dans les zones humides restant zones humides, les stocks de référence pour les sols sont considérés

à 125 tC/ha par défaut, d'après les mesures du RMQS [424] pour les sous-catégories tourbières et autres zones humides. La sous-catégorie marais salant est assimilée à un stock de prairies permanentes. Son stock de référence dépend donc des années. Les zones en eau (mer, rivière) et les zones inondées artificiellement ont un stock nul. Des flux peuvent exister si on a des conversions entre sous-catégories, et pour les stocks assimilés à des sols de prairies qui varient annuellement à cause des pratiques de gestion.

Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire pour ce compartiment.

## TERRES DEVENANT ZONES HUMIDES

La catégorie Terres devenant Zones humides peut comprendre à la fois les créations, anthropiques ou non, de terres inondées ou de la création ou re-création de zones humides. Les surfaces associées sont donc faibles. Pour certaines sous-catégories de zones humides, les stocks de carbone dans la biomasse herbacée et dans le sol sont élevés : les terres converties vers ces catégories peuvent donc générer une hausse progressive de leur stock de carbone sur ces compartiments, et donc, en fonction de la catégorie initiale, générer une séquestration de CO<sub>2</sub>.

Tous compartiments - flux de carbone

Les flux de carbone liés aux terres devenant Zones Humides sont calculés via la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF-général*). Pour chaque compartiment carbone, ces flux dépendent du stock initial et du stock final dans la sous-catégorie concernée au sein de la catégorie Zones Humides.

N<sub>2</sub>O de la minéralisation liée à la perte de C du sol

Des émissions complémentaires de N<sub>2</sub>O (protoxyde d'azote) associées à la minéralisation de l'azote lors d'une perte de carbone du sol sont estimées et calculées en cohérence avec les pertes de carbone estimées pour les Terres devenant Zones Humides. L'estimation des émissions directes de N<sub>2</sub>O liées à la minéralisation du carbone du sol se base sur les valeurs par défaut fournies par le Giec 2006 (eq. 11.8) pour le ratio C/N (15), et le facteur d'émission de 0,01 tN-N<sub>2</sub>O/tN. L'estimation des émissions indirectes de N<sub>2</sub>O liées à la lixiviation de l'azote libéré lors de la minéralisation du carbone du sol prennent aussi en considération les paramètres de calculs fournis par le Giec (2006), à savoir la fraction lixiviée de 0,3 tN/tN et le facteur d'émission de 0,0075 tN-N<sub>2</sub>O/tN (table 11.3).

Emissions liées au brûlage sur site de biomasse lors d'une déforestation

Des émissions complémentaires de CH<sub>4</sub>, de N<sub>2</sub>O et de polluants associées au brûlage d'une partie de la biomasse perdue lors d'une déforestation sont estimées, quelle que soit la catégorie finale. La part de la quantité de biomasse brûlée sur site est estimée par hypothèse à 20% avec une fraction oxydée de 90% [199, p.93]. Les émissions associées de CH<sub>4</sub>, de N<sub>2</sub>O et de polluants sont calculées sur la base de cette quantité de carbone de la biomasse brûlée sur site, et de facteurs d'émissions issus du Giec [199] - voir ci-après.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Emissions de CO<sub>2</sub> liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone

Les variations de stock de carbone associées aux terres converties en Zones Humides ou aux Zones Artificialisées changeant de sous-catégorie entraînent des flux de CO<sub>2</sub>. La conversion du flux de C en CO<sub>2</sub> se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12).

Emissions de CO<sub>2</sub> liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Les émissions de CO<sub>2</sub> sont déjà comptabilisées au niveau de la perte de carbone lors du calcul de la variation de stock des différents réservoirs de carbone. Seules des émissions complémentaires d'autres gaz et substances sont estimées.

### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Emissions de CH<sub>4</sub> liées au drainage ou à la remise en eau

Aucune émission liée au drainage ou à la remise en eau n'est estimée pour la catégorie Zones Humides. Ces émissions sont uniquement estimées pour les sols organiques des cultures et de prairies et sont négligées sur les autres catégories.

Emissions de CH<sub>4</sub> liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de CH<sub>4</sub> associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,012 tCH<sub>4</sub>/tC [199, table 3A.1.15].

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Emissions de N<sub>2</sub>O liées à la fertilisation (directes et indirectes)

Aucune fertilisation n'est estimée sur les Zones artificialisées.

Emissions de N<sub>2</sub>O liées au drainage ou à la remise en eau

Aucune émission liée au drainage ou à la remise en eau n'est estimée pour la catégorie Zones Humides. Ces émissions sont uniquement estimées pour les sols organiques des cultures et de prairies et sont négligées sur les autres catégories.

Emissions de N<sub>2</sub>O liées à la minéralisation des sols

Les émissions de N<sub>2</sub>O liées à la minéralisation des sols sont estimées en cohérence avec l'estimation des pertes de carbone.

Emissions de N<sub>2</sub>O liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de N<sub>2</sub>O associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,007 tN<sub>2</sub>O/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50].

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Emissions de SO<sub>2</sub> liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Pour ce brûlage les émissions de SO<sub>2</sub> associées ne sont pas estimées, conformément aux spécificités actuelles du rapportage international.

### **Emissions de NO<sub>x</sub>, CO**

Emissions de NO<sub>x</sub>, CO liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de NO<sub>x</sub> associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,121 tNO<sub>x</sub>/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50]. Des émissions de CO associées à ce brûlage sont aussi estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,06 tCO/tC [199, table 3A.1.15].

### **Emissions de COVNM**

Emissions de COVNM de la végétation (biotiques)

Aucune émission de COV biotique n'est estimée, conformément aux spécificités actuelles du rapportage international.

Emissions de COVNM liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Pour ce brûlage les émissions de COVNM associées ne sont pas estimées, conformément aux spécificités actuelles du rapportage international.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
18/01/2024	MJ	16/02/2024	EM

## ZONES ARTIFICIALISEES OU ETABLISSEMENTS (*SETTLEMENTS*)

Cette section concerne les émissions par les changements d'occupation des terres à destination des usages « zones artificialisées ». Deux types de terres peuvent être distingués : les « zones artificialisées » établies depuis plus de 20 ans et « zones artificialisées » issues d'un changement d'usage d'une terre sur la période de 20 ans précédant l'année d'inventaire considérée.

Les zones artificialisées correspondent aux terres artificialisées, qu'elles soient bâties, revêtues, ou non (habitations, parcs urbains, routes, pelouses, etc.), non incluses dans les autres catégories.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	4E
CEE-NU / NFR	NFR mémo hors total national
SNAPc (extension CITEPA)	11.35.01 à 11.35.16
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Surfaces	Données spécifiques nationales

### Niveau de méthode :

Se référer à la section UTCATF-Général - Description du secteur.

### Références utilisées :

[424] INRA INFOSOL - Données issues du réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS), 2009

[672] Giec 2006 - Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, Vol. 4.

[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.

[199] Giec, Guide sur les Bonnes Pratiques pour l'UTCATF, 2003.

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Définitions

## Définition de « zones artificialisées »

Zones artificialisées est l'expression usuellement employée dans le cadre de l'inventaire UTCATF de la France pour traduire le terme du Giec « *Settlements* », dont la traduction officielle est « Etablissements ». Le terme « artificialisé » ne doit pas être compris ici dans un sens strict (la majorité du paysage en France étant, à un certain degré, marqué par l'anthropisation et étant une création artificielle) mais dans le sens restreint des espaces associés aux lieux construits (habitations, infrastructures industrielles, commerciales, de transport) et aux espaces associés, tant que ceux-ci ne sont pas déjà comptabilisés dans une autre catégorie. Cette catégorie peut donc inclure des terres enherbées ou boisées si leur utilisation principale n'est ni agricole ni forestière, c'est le cas des jardins, des parcs ou des terrains de sport.

Pour le calcul des flux de carbone, on distingue dans l'inventaire français d'une part les espaces artificiels principalement bâtis et/ou revêtus, et d'autre part les espaces artificiels principalement végétalisés. Des classes d'occupation du sol plus précises permettent de distinguer un gradient de présence de végétation, permettant d'affiner l'estimation des stocks de carbone dans la biomasse et le sol.

Tableau 190 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Etablissements

Niveau 1 (usage général)		Niveau 2 (usage précis)		Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul	
3	Artificiel	30	Artificiel à définir	300	Artificiel indéfini
		31	Artificiel principalement bâti/revêtu	310	Artificiel principalement bâti/revêtu indéfini
				31ba	Espaces entièrement artificiels (bâti, nus ou revêtus)
				31bn	Espaces en partie artificiels bâtis, nus ou revêtus
		32	Artificiel principalement végétalisé	320	Artificiel principalement végétalisé indéfini
				32vh	Espaces végétalisés artificiels - herbe et buissonnant
				32va	Espaces végétalisés artificiels - arborés

## Définition des « zones artificialisées restant zones artificialisées » et « terres devenant zones artificialisées »

La catégorie des zones artificialisées restant zones artificialisées est une catégorie utilisée pour le rapportage. Elle correspond, par convention, aux surfaces classées en dans la catégorie « Etablissements » l'année N et l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec). Dans les faits, cela inclut des terres qui ont pu changer d'usage et redevenir Etablissements.

La catégorie des terres devenant Etablissements correspond à l'ensemble des terres en Etablissements l'année N mais dans une autre catégorie l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec).

## Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

### Approche et données

#### Approche générale

Les flux de carbone sur l'ensemble des catégories de terres sont estimés en deux temps :

7. Dans un premier temps, la routine du modèle de variation de stock par maille estime, pour chaque année, et chaque compartiment, les flux par variation du stock pour

tous les compartiments, en fonction des changements d'usage (y compris les changements entre sous-catégories d'une même catégorie Giec) ;

8. Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée, d'autres flux de carbone sont ajoutés : sols organiques drainés ; émissions de N<sub>2</sub>O liés à la perte de carbone, etc.

## Données

Pour rappel, le modèle de variation de stock à la maille est décrit dans la partie *UTCATF général*. Le tableau suivant rappelle les stocks de référence pour les sous-catégories de terres humides. Ces valeurs étaient déjà présentées par compartiment dans la partie UTCATF général, s'y référer pour avoir les sources de l'ensemble des données.

Tableau 191 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de zones artificialisées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)

tC/ha/an		Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
		Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
300	Artif. indéfini	0	0	0	0	0	0	0	0	30
310	Artif. bâti/revêtu indéfini	0	0	0	0	0	0	0	0	30
31ba	Artif. bâtis, nus ou revêtus	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31bn	Artif. en partie bâtis, nus ou revêtus	0	0	0	0	0	2,1	0	0	30
320	Artif. végétalisé indéfini	0	0	0	0	0	4,2	0	0	<sup>77</sup> [48 ; 95]
32vh	Artif. herbe et buissonnant	0	0	0	0	0	6,3	0	0	<sup>77</sup> [48 ; 95]
32va	Artif. arboré	46 [14 ; 79]	13 [4 ; 23]	0	0	0	0,2	4 [0 ; 9]	9	<sup>77</sup> [48 ; 95]

moyenne [min, max]

Les stocks de carbone du sol dans les zones urbanisées sont estimés à partir d'une revue de littérature menée dans le cadre des travaux de thèse de C. Robert [721]. D'après ces travaux, les sols nus, revêtus ou artificialisés ont un stock moyen de 30 tC/ha ; les sols végétalisés en herbe ont un stock similaire, en moyenne, au stock sous prairie et les sols urbanisés arborés ont un stock similaire, en moyenne, au stock sous forêt. Pour les sous-catégories végétalisées, le stock de référence considéré pour les sols est donc le COS<sub>REF</sub> de la zone pédoclimatique. Pour rappel, ce stock dans l'inventaire est le stock moyen entre les stocks forêts et prairies du RMQS [424] par zone pédoclimatique.

Les deux tableaux suivants décrivent les gains et les pertes utilisés par le modèle. Il est important de noter que les flux de gains et de pertes sont des flux maximums à appliquer lors de la conversion d'une maille en zones artificialisées (ou entre sous-catégories de zones artificialisées). Il s'agit de :

- *gains maximums annuels de référence* à appliquer à la maille devenue artificielle dans le cas où le stock du compartiment avant la conversion était inférieur au nouveau stock de référence ;
- *pertes maximums annuelles de référence* à appliquer si le stock initial était supérieur.

La notion de « maximum » est utilisée car lorsque le modèle fait converger la maille vers son nouveau stock de référence, il utilise comme incrémentation ces valeurs de flux de référence mais s'arrête exactement au niveau du stock cible. Le flux la dernière année avant l'atteinte de ce stock peut donc être inférieur au flux de référence.

Ces flux se basent sur des périodes de transition de 1 an, 20 ans ou 5 ans. Dans la plupart des cas, seuls des flux de pertes sont attendus pour la catégorie Zones Artificielles. Néanmoins des gains sont possibles dans certains cas (ex. conversion d'une culture sans biomasse ligneuse en une zone artificialisée arborée).

Tableau 192 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de zones artificialisées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

<i>tC/ha/an</i>		Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
		Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
300	Artif. indéfini	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,5
310	Artif. bâti/revêtu indéfini	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,5
31ba	Artif. bâtis, nus ou revêtus	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,5
31bn	Artif. en partie bâtis, nus ou revêtus	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,5
320	Artif. végétalisé indéfini	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,2
32vh	Artif. herbe et buissonnant	0	0	0	0	3,6	6,3	0	0	1,2
32va	Artif. arboré	1,1 [0,4 ; 2]	0,3 [0,1 ; 0,6]	0,0	0,0	3,6	6,3	0,1 [0 ; 0,23]	0,5	1,2

moyenne [min, max]

Tableau 193 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de zones artificialisées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

<i>tC/ha/an</i>		Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
		Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
300	Artif. indéfini	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-9,7
310	Artif. bâti/revêtu indéfini	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-9,7
31ba	Artif. bâtis, nus ou revêtus	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-9,7
31bn	Artif. en partie bâtis, nus ou revêtus	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-9,7
320	Artif. végétalisé indéfini	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
32vh	Artif. herbe et buissonnant	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-1,22
32va	Artif. arboré	0	0	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-1,22

Il est important de souligner que, en Guyane, il est considéré que l'intégralité du carbone du sol est perdue suite aux défrichements vers zones artificialisées. En effet, une grande partie des défrichements correspond à de l'orpillage, et dans ces cas le sol est clairement décapé ce qui entraîne une perte importante de carbone pour ce réservoir.

## ZONES ARTIFICIALISEES RESTANT ZONES ARTIFICIALISEES

La catégorie « Zones artificialisées restant zones artificialisées » inclut des terres changeant de sous-catégories, par exemple des conversions entre zones artificialisées végétalisées en zones bâties ; et des terres restant dans la même sous-catégorie.

Biomasse vivante (zones artificialisées restant zones artificialisées) [lb\_f ; lb\_cp ; lb\_ca ; lb\_hh]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Pour les zones artificialisées restant zones artificialisées, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de biomasse en différenciant différents types de biomasse : biomasse ligneuse type forêt [lb\_f], biomasse ligneuse type culture pérenne [lb\_cp], biomasse herbacée type culture annuelle [lb\_ca] et biomasse herbacée type herbe [lb\_hh]. Les stocks de référence de carbone dans la biomasse peuvent être différents selon les sous-catégories et engendre alors des flux d'absorption ou d'émissions. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF - général*).

Flux estimés en complément

Des flux de carbone dans la biomasse liés à l'évolution du linéaire de haies sont pris en compte. La méthodologie est décrite dans la section *UTCATF - général*.

Bois mort et litière (zones urbanisées restant zones urbanisées) [dw ; lt]

Dans les zones artificialisées restant zones artificialisées, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories (bâti, artificiel arboré...), on estime les pertes et gains de bois mort. En effet, les stocks de référence de carbone dans le bois mort peuvent être différents selon les sous-catégories. Ils sont nuls pour la plupart des sous-catégories des zones artificialisées. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF - général*). Les stocks et flux de référence ont été rappelés en début de section.

Matière organique du sol (zones urbanisées restant zones urbanisées) - sols minéraux

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Dans les zones artificialisées restant zones artificialisées, les stocks de référence pour les sols minéraux varient selon les classes d'occupation, en fonction du degré de présence de sol végétalisé. Lors d'une conversion entre sous-catégories de zones artificialisées, des éventuels flux de carbone peuvent être estimés en cas de variation de stock entre l'occupation initiale et finale. Cependant, pour les terres restant dans la même sous-catégorie, aucune variation de stock n'est estimée pour le sol.

Flux estimés en complément

Des émissions complémentaires de N<sub>2</sub>O (protoxyde d'azote) associées à la minéralisation de l'azote lors d'une perte de carbone du sol sont estimées et calculées en cohérence avec les pertes de carbone estimées pour les Zones Artificialisées restant Zones artificialisées mais changeant de sous-catégorie. L'estimation des émissions directes de N<sub>2</sub>O liées à la minéralisation du carbone du sol se base sur les valeurs par défaut fournies par le Giec 2006 (eq. 11.8) pour le ratio C/N (15), et le facteur d'émission de 0.01 tN-N<sub>2</sub>O/tN. L'estimation des émissions indirectes de N<sub>2</sub>O liées à la lixiviation de l'azote libéré lors de la minéralisation du carbone du sol prennent aussi en considération les paramètres de calculs fournis par le Giec (2006), à savoir la fraction lixiviée de 0,3 tN/tN et le facteur d'émission de 0,0075 tN-N<sub>2</sub>O/tN (table 11.3).

## TERRES DEVENANT ZONES ARTIFICIALISEES

La catégorie Terres devenant Zones artificialisées reflète les dynamiques d'artificialisation du territoire et estime les flux de carbone associés. Il s'agit surtout de pertes de carbone

(perte de biomasse, diminution du stock de carbone dans le sol) mais des gains sont aussi possibles (par exemple : gains de biomasse lié à la création d'une zone artificielle arborée sur une zone précédemment sans arbres).

Tous compartiments - flux de carbone

Les flux de carbone liés aux terres devenant Zones Artificialisées sont calculés via la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF-général*). Pour chaque compartiment carbone, ces flux dépendent du stock initial et du stock final dans la sous-catégorie concernée au sein de la catégorie Zones artificialisées.

N<sub>2</sub>O de la minéralisation liée à la perte de C du sol

Des émissions complémentaires de N<sub>2</sub>O (protoxyde d'azote) associées à la minéralisation de l'azote lors d'une perte de carbone du sol sont estimées et calculées en cohérence avec les pertes de carbone estimées pour les Terres devenant Zones Artificialisées. L'estimation des émissions directes de N<sub>2</sub>O liées à la minéralisation du carbone du sol se base sur les valeurs par défaut fournies par le Giec 2006 (eq. 11.8) pour le ratio C/N (15), et le facteur d'émission de 0.01 tN-N<sub>2</sub>O/tN. L'estimation des émissions indirectes de N<sub>2</sub>O liées à la lixiviation de l'azote libéré lors de la minéralisation du carbone du sol prennent aussi en considération les paramètres de calculs fournis par le Giec (2006), à savoir la fraction lixiviée de 0,3 tN/tN et le facteur d'émission de 0,0075 tN-N<sub>2</sub>O/tN (table 11.3).

Emissions liées au brûlage sur site de biomasse lors d'une déforestation

Des émissions complémentaires de CH<sub>4</sub>, de N<sub>2</sub>O et de polluants, associées au brûlage d'une partie de la biomasse perdue lors d'une déforestation sont estimées, qu'elle que soit la catégorie finale. La part de la quantité de biomasse brûlée sur site est estimée par hypothèse à 20% avec une fraction oxydée de 90% [199, p.93]. Les émissions associées de CH<sub>4</sub>, de N<sub>2</sub>O et de polluants sont calculées sur la base de cette quantité de carbone de la biomasse brûlée sur site, et de facteurs d'émissions issus du Giec [199] - voir ci-après.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Emissions de CO<sub>2</sub> liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone

Les variations de stock de carbone associées aux terres converties en Zones Artificialisées ou aux Zones Artificialisées changeant de sous-catégorie entraînent des flux de CO<sub>2</sub>. La conversion du flux de C en CO<sub>2</sub> se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12).

Emissions de CO<sub>2</sub> liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Les émissions de CO<sub>2</sub> sont déjà comptabilisées au niveau de la perte de carbone lors du calcul de la variation de stock des différents réservoirs de carbone. Seules des émissions complémentaires d'autres gaz et substances sont estimées.

### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Emissions de CH<sub>4</sub> liées au drainage ou à la remise en eau

Aucune émission liée au drainage ou à la remise en eau n'est estimée pour la catégorie Zones Artificialisées. Ces émissions sont uniquement estimées pour les sols organiques des cultures et de prairies et sont négligées sur les autres catégories.

Emissions de CH<sub>4</sub> liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de CH<sub>4</sub> associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,012 tCH<sub>4</sub>/tC [199, table 3A.1.15].

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Emissions de N<sub>2</sub>O liées à la fertilisation (directes et indirectes)

Aucune fertilisation n'est estimée sur les Zones artificialisées.

Emissions de N<sub>2</sub>O liées au drainage ou à la remise en eau

Aucune émission liée au drainage ou à la remise en eau n'est estimée pour la catégorie Zones Artificialisées. Ces émissions sont uniquement estimées pour les sols organiques des cultures et de prairies et sont négligées sur les autres catégories.

Emissions de N<sub>2</sub>O liées à la minéralisation des sols

Les émissions de N<sub>2</sub>O liées à la minéralisation des sols sont estimées en cohérence avec l'estimation des pertes de carbone.

Emissions de N<sub>2</sub>O liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de N<sub>2</sub>O associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,007 tN<sub>2</sub>O/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50].

## **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Emissions de SO<sub>2</sub> liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Pour ce brûlage les émissions de SO<sub>2</sub> associées ne sont pas estimées, conformément aux spécificités actuelles du rapportage international.

### **Emissions de NO<sub>x</sub>, CO**

Emissions de NO<sub>x</sub>, CO liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de NO<sub>x</sub> associées à ce brûlage

sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,121 tNO<sub>x</sub>/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50]. Des émissions de CO associées à ce brûlage sont aussi estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,06 tCO/tC [199, table 3A.1.15].

### ***Emissions de COVNM***

Emissions de COVNM de la végétation (biotiques)

Aucune émission de COV biotique n'est estimée, conformément aux spécificités actuelles du rapportage international.

Emissions de COVNM liées au brûlage

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Pour ce brûlage les émissions de COVNM associées ne sont pas estimées, conformément aux spécificités actuelles du rapportage international.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
10/02/2023	CR	02/03/2020	EM, JPC

## AUTRES TERRES (OTHER LAND)

Cette section concerne les émissions par les changements d'occupation des terres à destination des « autres terres ». Deux types de terres peuvent être distingués : les « autres terres » établies depuis plus de 20 ans et les « autres terres » issues d'un changement d'usage d'une terre sur la période de 20 ans précédant l'année d'inventaire considérée.

Les autres terres au sens du Giec regroupent toutes les terres qui ne correspondent pas aux cinq autres définitions de terres (dunes, glaciers, roches affleurantes, etc.)

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	4F
CEE-NU / NFR	NFR mémo hors total national
SNAPc (extension CITEPA)	11.36.01 à 11.36.16
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Surfaces	Données spécifiques nationales

### Niveau de méthode :

*Se référer à la section UTCATF-Général - Description du secteur.*

### Références utilisées :

[672] Giec, Lignes directrices 2006 pour les inventaires nationaux - Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, Vol. 4.

[199] Giec, Guide sur les Bonnes Pratiques pour l'UTCATF, 2003.

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

#### Définition des Autres terres

En principe, la catégorie « Autres Terres » du Giec permet de rassembler toute autre terre qui n'est pas comptabilisées dans les 5 autres catégories précédentes (Forêt, Cultures, Prairies, Zones humides, Zones artificielles), quelle que soit son occupation du sol précise. Dans les faits, les terres concernées sont des surfaces avec un stock de carbone dans la biomasse et dans le sol nul ou faible : sols nus, sables, rochers, glaciers...

Tableau 194 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Autres Terres

Niveau 1 (usage général)		Niveau 2 (usage précis)		Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul	
4	Autres	40	Autres à définir	400	Autres indéfini
		42	Sols nus, et minéraux	420	Sols nus, minéraux indéfinis
				42sn	Sols nus, sables, rochers
				42gl	Glaciers et neiges

Définition de « autre terres restant autres terres » et « terres devenant autres terres »

La catégorie des autres terres restant autres terres est une catégorie utilisée pour le rapportage. Elle correspond, par convention, aux surfaces classées en dans la catégorie « Autres terres » l'année N et l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec). Dans les faits, cela inclut des terres qui ont pu changer d'usage et redevenir Autres terres.

La catégorie des terres devenant Etablissements correspond à l'ensemble des terres en Autres terres l'année N mais dans une autre catégorie l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec).

### Méthode générale d'estimation des émissions (NIR) :

Approche et données

#### Approche générale

Les flux de carbone sur l'ensemble des catégories de terres sont estimés en deux temps :

9. Dans un premier temps, la routine du modèle de variation de stock par maille estime, pour chaque année, et chaque compartiment, les flux par variation du stock pour tous les compartiments, en fonction des changements d'usage (y compris les changements entre sous-catégories d'une même catégorie Giec) ;
10. Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée, d'autres flux de carbone sont ajoutés : flux complémentaires liés aux sols organiques drainés ; émissions de N<sub>2</sub>O liés à la perte de carbone, etc.

Valeurs de référence

Pour rappel, le modèle de variation de stock à la maille est décrit dans la partie *UTCATF général*. Le tableau suivant rappelle les stocks de référence pour les sous-catégories des Autres terres. Ces derniers sont nuls pour toutes les sous-catégories et tous les compartiments.

Tableau 195 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories des Autres terres, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)

tC/ha/an		Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
		Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
400	Autres indéfini	0	0	0	0	0	0	0	0	0
420	Sols nus, minéraux indéf.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42sn	Sols nus, sables, rochers	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42gl	Glaciers et neiges	0	0	0	0	0	0	0	9	0

Le tableau suivant décrit les flux de référence utilisés par le modèle. Ce sont des flux maximums à appliquer lors de la conversion d'une maille en autres terres (ou entre sous-catégories). Il s'agit dans tous les cas de flux de pertes car aucun gain de carbone n'est possible pour la catégorie Autres Terres.

En effet, les stocks de tous les compartiments étant nuls, la seule configuration possible est l'application d'un flux de perte, pour dégrader le stock de carbone existant lors de la conversion d'une maille en Autres terres.

La notion de « maximum » est utilisée car lorsque le modèle fait converger la maille vers son nouveau stock de référence, il utilise comme incrémentation ces valeurs de flux de référence mais s'arrête exactement au niveau du stock cible. Le flux la dernière année avant l'atteinte de ce stock peut donc être inférieur au flux de référence.

Tableau 196 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories des Autres terres, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille

<i>tC/ha/an</i>		Biomasse vivante						Bois mort	Litière	Sols minéraux
		Type forêt aérien	Type forêt racinaire	Type cultures pérennes aérien	Type cultures pérennes racinaire	Type cultures annuelles (aérien + racinaire)	Type herbe (aérien + racinaire)			
400	Autres indéfini	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-3,16
420	Sols nus, minéraux indéf.	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-3,16
42sn	Sols nus, sables, rochers	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	-50	-10	-3,16
42gl	Glaciers et neiges	-200	-50	-20	-10	-3,6	-6,3	0	0	-3,16

## AUTRES TERRES RESTANT AUTRES TERRES

La catégorie « Autres terres restant autres terres » inclut des terres changeant de sous-catégories et des terres restant dans la même sous-catégorie.

### Tous compartiments

Dans les autres terres restant autres terres, les stocks de référence pour tous les compartiments sont considérés à 0. Aucune variation de stock n'est estimée dans les autres terres restant autres terres, ni pour la biomasse vivante, le bois mort, la litière ou les sols.

Les lignes directrices du Giec [672] ne prévoient aucune estimation pour cette sous-catégorie. Les tables de rapportage des émissions et absorptions au titre de la CCNUCC (tables CRF) ne prévoient pas non plus la possibilité de rapporter des flux sur cette sous-catégorie.

## TERRES DEVENANT AUTRES TERRES

Les terres devenant autres terres sont des conversions improbables ou très rares en France. Les lignes directrices du Giec [672] indiquent qu'il peut s'agir de déforestation suivie de forte dégradation des terres.

### Tous compartiments - flux de carbone

Les flux de carbone liés aux terres devenant Autres Terres sont calculés via la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF-général*). Pour chaque compartiment carbone, ces flux dépendent du stock initial et du stock final dans la sous-catégorie concernée au sein de la catégorie Autres Terres.

Conformément aux recommandations du Giec [672], on considère une perte totale du carbone de la biomasse et du sol. Le stock de référence, pour tous les compartiments, sont

fixés à zéro pour toutes les sous-catégories d'Autres terres. Les Terres devenant Autres terres engendrent généralement des pertes de carbone et donc des émissions de CO<sub>2</sub>.

N<sub>2</sub>O de la minéralisation liée à la perte de C du sol

Des émissions complémentaires de N<sub>2</sub>O (protoxyde d'azote) associées à la minéralisation de l'azote lors d'une perte de carbone du sol sont estimées et calculées en cohérence avec les pertes de carbone estimées pour les Terres devenant Autres terres. L'estimation des émissions directes de N<sub>2</sub>O liées à la minéralisation du carbone du sol se base sur les valeurs par défaut fournies par le Giec 2006 (eq. 11.8) pour le ratio C/N (15), et le facteur d'émission de 0.01 tN-N<sub>2</sub>O/tN. L'estimation des émissions indirectes de N<sub>2</sub>O liées à la lixiviation de l'azote libéré lors de la minéralisation du carbone du sol prennent aussi en considération les paramètres de calculs fournis par le Giec (2006), à savoir la fraction lixiviée de 0,3 tN/tN et le facteur d'émission de 0,0075 tN-N<sub>2</sub>O/tN (table 11.3).

Emissions liées au brûlage sur site de biomasse lors d'une déforestation

Des émissions complémentaires de CH<sub>4</sub>, de N<sub>2</sub>O et de polluants associées au brûlage d'une partie de la biomasse perdue lors d'une déforestation sont estimées, qu'elle que soit la catégorie finale. La part de la quantité de biomasse brûlée sur site est estimée par hypothèse à 20% avec une fraction oxydée de 90% [199, p.93]. Les émissions associées de CH<sub>4</sub>, de N<sub>2</sub>O et de polluants sont calculées sur la base de cette quantité de carbone de la biomasse brûlée sur site, et de facteurs d'émissions issus du Giec [199] - voir ci-après.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Emissions de CO<sub>2</sub> liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone

Les variations de stock de carbone associées aux terres converties en Autres Terres entraînent des flux de CO<sub>2</sub>. La conversion du flux de C en CO<sub>2</sub> se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12).

Emissions de CO<sub>2</sub> liées au brûlage

Les Autres Terres sont des terres dénuées de végétation. Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Les émissions de CO<sub>2</sub> sont déjà comptabilisées au niveau de la perte de carbone lors du calcul de la variation de stock des différents réservoirs de carbone. Seules des émissions complémentaires d'autres gaz et substances sont estimées.

### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Emissions de CH<sub>4</sub> liées au drainage ou à la remise en eau

Aucune émission liée au drainage ou à la remise en eau n'est estimée pour la catégorie Autres Terres. Ces émissions sont uniquement estimées pour les sols organiques des cultures et de prairies et sont négligées sur les autres catégories.

Emissions de CH<sub>4</sub> liées au brûlage

Les Autres Terres sont des terres dénuées de végétation. Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage

contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de CH<sub>4</sub> associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,012 tCH<sub>4</sub>/tC [199, table 3A.1.15].

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Emissions de N<sub>2</sub>O liées à la fertilisation (directes et indirectes)

Aucune fertilisation n'est estimée sur les Autres terres.

Emissions de N<sub>2</sub>O liées au drainage ou à la remise en eau

Aucune émission liée au drainage ou à la remise en eau n'est estimée pour la catégorie Autres Terres. Ces émissions sont uniquement estimées pour les sols organiques des cultures et de prairies et sont négligées sur les autres catégories.

Emissions de N<sub>2</sub>O liées à la minéralisation des sols

Les émissions de N<sub>2</sub>O liées à la minéralisation des sols sont estimées en cohérence avec l'estimation des pertes de carbone.

Emissions de N<sub>2</sub>O liées au brûlage

Les Autres Terres sont des terres dénuées de végétation. Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de N<sub>2</sub>O associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,007 tN<sub>2</sub>O/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50].

### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Emissions de SO<sub>2</sub> liées au brûlage

Les Autres Terres sont des terres dénuées de végétation. Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Pour ce brûlage les émissions de SO<sub>2</sub> associées ne sont pas estimées, conformément aux spécificités actuelles du rapportage international.

#### **Emissions de NO<sub>x</sub>, CO**

##### **Emissions de NO<sub>x</sub>, CO liées au brûlage**

Les Autres Terres sont des terres dénuées de végétation. Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de NO<sub>x</sub> associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,121 tNO<sub>x</sub>/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50]. Des émissions de CO associées à ce brûlage sont aussi estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,06 tCO/tC [199, table 3A.1.15].

#### **Emissions de COVNM**

### Emissions de COVNM de la végétation (biotiques)

Les Autres Terres sont des terres dénuées de végétation. Aucune émission de COV biotique n'est estimée, conformément aux spécificités actuelles du rapportage international.

### Emissions de COVNM liées au brûlage

Les Autres Terres sont des terres dénuées de végétation. Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Pour ce brûlage les émissions de COVNM associées ne sont pas estimées, conformément aux spécificités actuelles du rapportage international.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
06/02/2024	CR/MJ	16/02/2024	EM

## PRODUITS LIGNEUX RECOLTES (HARVESTED WOOD PRODUCTS)

Cette section concerne les absorptions et les émissions de CO<sub>2</sub> par les produits ligneux récoltés (PLR) aussi désignés par l'expression « produits bois ».

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	4G
CEE-NU / NFR	(hors champ)
SNAPc (extension CITEPA)	11.25.00
CE / directive IED	(hors champ)
CE / E-PRTR	(hors champ)
CE / directive GIC	(hors champ)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Quantité de produits bois fabriquée	Densité de carbone des produits bois

### Niveau de méthode :

Rang 2

### Références utilisées :

- [674] Carbone 4. Méthode opérationnelle de comptabilisation des produits-bois dans l'inventaire national GES, Juin 2014.
- [710] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 4, Chap. 12
- [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).
- [804] 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol

### Caractéristiques de la catégorie (NIR) :

#### Définition

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.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

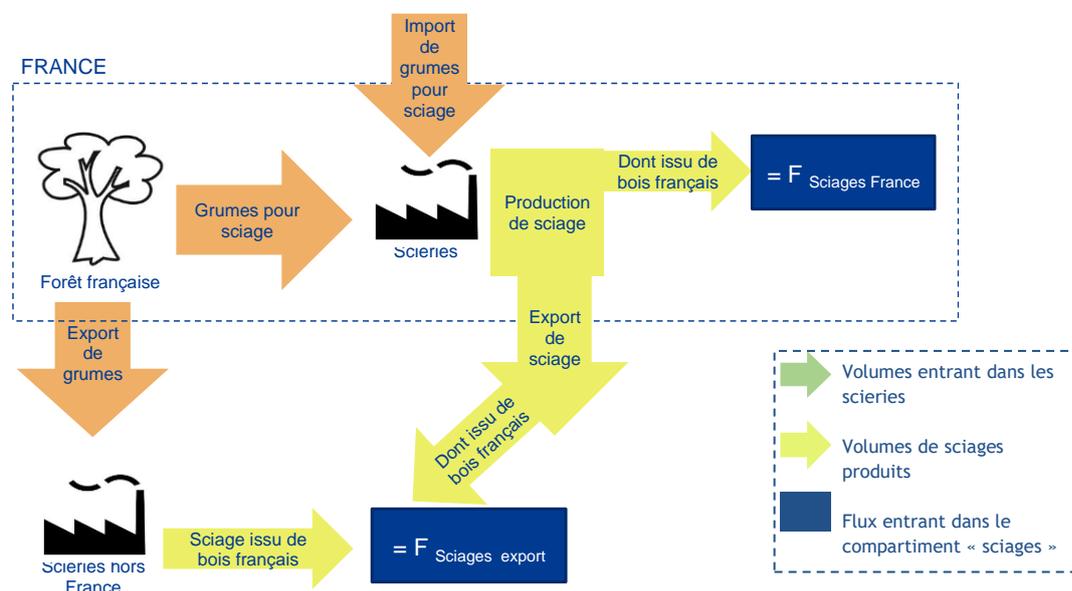
### Emissions de CO<sub>2</sub>

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 1 : Flux considérés dans la formulation concernant le compartiment "sciages"



### Données

Les données de production de bois sont issues principalement des statistiques du Ministère de l'Agriculture, mais aussi d'Eurostat, du FCBA et de la Copacel. Elles sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 197 : Principales sources de données pour les Produits Ligneux Récoltés

Donnée	Source
<b>Sciage</b>	
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
<b>Panneaux de process</b>	
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
<b>Contreplaqués</b>	
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
<b>Papiers et cartons</b>	
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/m<sup>3</sup> de bois brut ; 0,5t de panneaux /m<sup>3</sup>) [674]
- taux de rendement (0,5 m<sup>3</sup> sciage/m<sup>3</sup> de bois rond sur écorce ; 0,47m<sup>3</sup> de contreplaqué /m<sup>3</sup> 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 198 : 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	
Agencement et menuiseries	15 ans	
Couverture/Charpente	50 ans	Carbone 4 d'après la durée de vie moyenne (FCBA 2008)
Parquets/lambris	30 ans	

## Gestion des imports et des exports

Les flux entrants permettent de distinguer :

- Les produits bois issus de bois récolté en France.
- Les produits bois issus de bois importé
- Le bois exporté.

Les statistiques de récolte de bois traitent de l'ensemble du bois commercial récolté, qu'il s'agisse de bois en forêt ou hors forêt. Les statistiques de récolte de bois et de sciages sont cohérentes avec les statistiques de récolte de bois utilisés pour estimer les prélèvements en Forêt.

Les quantités de bois exporté proviennent des statistiques du Ministère de l'Agriculture sur le commerce extérieur.

## Série temporelle des flux entrants dans les produits bois

Le tableau ci-dessous présente la quantité de produits bois, exprimée en carbone, par grande catégorie, produits à partir de la récolte de bois intérieure.

Tableau 199 : Production de produits bois issus des prélèvements intérieurs

	Sciages (tC)	Panneaux (tC)	Contreplaqués (tC)	Papier (tC)
1990	1 767 711	1 470 432	247 959	1 062 247
1991	1 704 227	1 484 247	232 197	1 086 880
1992	1 624 455	1 063 938	218 389	1 062 646
1993	1 503 315	993 393	200 420	995 337
1994	1 586 991	1 043 309	213 623	1 105 568
1995	1 626 610	1 091 752	221 094	1 112 722
1996	1 547 069	1 181 167	208 955	1 020 014
1997	1 588 374	1 265 121	215 478	1 069 864
1998	1 656 320	1 381 503	224 062	1 074 375
1999	1 663 226	1 425 794	226 191	1 129 285
2000	1 594 720	1 418 932	314 326	1 252 324
2001	1 600 207	1 497 271	259 492	1 175 207
2002	1 461 478	1 462 506	219 609	1 092 332
2003	1 442 370	1 512 278	216 322	1 069 315
2004	1 480 056	1 578 936	220 494	1 125 219
2005	1 616 766	1 744 462	197 464	1 079 246
2006	1 659 308	1 737 707	206 368	1 107 149
2007	1 678 801	1 866 955	227 516	1 093 415
2008	1 567 497	1 692 090	223 228	1 030 687
2009	1 413 458	1 367 593	244 328	978 389
2010	1 456 182	1 611 760	183 860	1 179 914
2011	1 637 501	1 778 425	193 521	1 086 830
2012	1 466 928	1 711 011	168 392	1 024 936
2013	1 462 836	1 654 828	166 891	977 062

2014	1 403 950	1 575 174	183 438	1 014 121
2015	1 402 344	1 507 482	179 175	935 276
2016	1 388 687	1 471 132	193 084	879 351
2017	1 428 177	1 417 872	206 352	868 344
2018	1 437 471	1 408 983	221 864	813 170
2019	1 365 596	1 411 414	213 576	800 072
2020	1 336 071	1 066 826	193 412	824 775
2021	1 524 913	1 398 829	209 296	913 961
2022	1 503 259	1 299 906	193 412	893 154

L'intégralité du bilan des produits bois utilisées dans l'inventaire est disponible par produit et par année dans l'annexe LULUCF\_background.xlsx.

Estimation des flux sortants : fonction de décomposition et durées de vie des produits bois

La fonction de décomposition de 1er ordre proposée par le Giec (2006) est utilisée. La fonction Gamma, utilisée dans les précédentes éditions d'inventaire, n'est plus utilisée. L'approche préconisée par le Giec est appliquée, notamment dans le cadre du règlement EU 2018/841.

Série temporelle des flux sortants des produits bois

Le tableau ci-dessous présente la quantité de produits bois en fin de vie (flux sortants), exprimée en carbone, par grande catégorie.

Tableau 200 : Fin de vie des produits bois issus des prélèvements intérieurs

	Sciages (tC)	Panneaux (tC)	Contreplaqués (tC)	Papier (tC)
1990	1 221 325	810 238	127 327	909 910
1991	1 245 619	828 481	129 902	925 133
1992	1 258 876	840 640	132 080	940 424
1993	1 260 027	845 777	133 845	948 602
1994	1 260 065	850 499	135 517	956 573
1995	1 267 093	856 437	137 387	971 886
1996	1 271 433	864 100	139 160	981 402
1997	1 273 937	873 923	140 828	986 811
1998	1 282 196	886 219	142 632	994 633
1999	1 293 320	900 371	144 516	1 002 774
2000	1 299 323	914 644	147 392	1 019 613
2001	1 301 053	929 510	150 576	1 039 502
2002	1 295 794	944 558	152 607	1 049 760
2003	1 284 134	959 405	154 099	1 052 286
2004	1 276 029	975 439	155 568	1 056 386
2005	1 279 350	994 215	156 787	1 060 967
2006	1 291 895	1 014 638	157 818	1 063 727
2007	1 305 729	1 036 186	159 170	1 067 644
2008	1 312 677	1 056 501	160 681	1 068 923
2009	1 305 405	1 069 424	162 352	1 061 335
2010	1 294 685	1 080 932	163 531	1 061 428
2011	1 298 616	1 097 736	164 106	1 069 730

2012	1 302 550	1 115 424	164 490	1 069 745
2013	1 297 504	1 130 938	164 562	1 063 307
2014	1 290 592	1 144 170	164 805	1 057 096
2015	1 282 268	1 155 026	165 181	1 050 792
2016	1 275 042	1 164 165	165 661	1 037 892
2017	1 270 764	1 171 827	166 439	1 023 049
2018	1 269 810	1 178 433	167 528	1 006 630
2019	1 265 935	1 184 771	168 674	987 940
2020	1 257 765	1 186 235	169 469	970 182
2021	1 259 602	1 187 531	170 198	959 898
2022	1 269 311	1 191 950	170 909	954 586

L'intégralité du bilan des produits bois utilisées dans l'inventaire est disponible par produit et par année dans l'annexe LULUCF\_background.xlsx.

### Discussion

Différence entre l'approche Giec (appliquée) et l'approche Gamma (non utilisée)

La fonction plus évoluée, à deux paramètres, qui s'appuie sur la fonction de distribution Gamma présentait notamment l'intérêt de corriger l'erreur intrinsèque portée par la fonction de décomposition de 1er ordre, qui considère que la décomposition maximale d'une catégorie de produits a toujours lieu la première année. C'est en effet incorrect dans les faits pour les produits bois à longue durée de vie, par exemple.

### Origine du bois récolté - part issue de récoltes en France

Les produits ligneux récoltés importés (sciés en France à partir de bois non français) sont retranchés de la production prise en compte dans le bilan des produits bois. Les données statistiques du Ministère de l'Agriculture sur le commerce extérieur du bois permettent de connaître les quantités de grumes importées achetées par les scieries, et ainsi connaître la part du bois entrant qui provient de l'étranger. Ainsi, cette part est retranchée du bois entrant pour ne prendre en compte que la part issue de récoltes domestiques.

L'équation suivante synthétise ce calcul :

$$P_{dom} = P_{tot} \times \frac{P_{fra}}{P_{fra} + I}$$

Où

*P<sub>dom</sub>* = Production de sciages issue de bois domestique

*P<sub>tot</sub>* = Production de sciages totaux en France métropolitaine (données DISAR)

*P<sub>fra</sub>* = Récolte de bois destiné au sciage (récoltes classiques et accidentelles)

*I* : Import (achats de grumes - données DISAR sur le commerce extérieur du bois)

La production de sciages totaux en France provient de l'enquête annuelle Exploitations forestières et scieries (EXF-SRI) qui mesure la production en quantités physiques en France métropolitaine, de l'ensemble des branches d'activité Exploitations forestières et scieries.

Elle permet de connaître chaque année les volumes de bois récoltés, de bois sciés, de merrains ou bois sous rails et de certains produits finis.

Les données sur les achats de grume sont suivies par le service statistique du ministère de l'Agriculture à partir de deux sources :

- Intra UE, les déclarations d'échanges mensuelles de biens fournies par les entreprises sont obligatoires pour les entreprises dépassant 460 000 € d'échanges annuels avec l'UE. Les données sous ce seuil déclaratif font l'objet d'estimation par pays.
- Pour les pays hors UE, tous les échanges de marchandises sont déclarés directement au passage de la frontière sur la base d'un Document administratif unique.

#### *Origine du bois récolté - répartition entre boisements et forêt restant forêt*

L'ensemble du bois récolté en France, et alimentant les réservoirs des produits bois issus de production domestique, provient de la catégorie « forêt restant forêt », c'est-à-dire les forêts de plus de 20 ans, à dire d'expert. Ainsi, le bilan des Produits Ligneux Récoltés, dans le rapportage au titre du Protocole de Kyoto, est entièrement rapporté au sein de l'activité « Forest management ». Il n'est pas rapporté au sein de l'activité « Afforestation/reforestation ».

#### *Origine du bois récolté - Outre-mer*

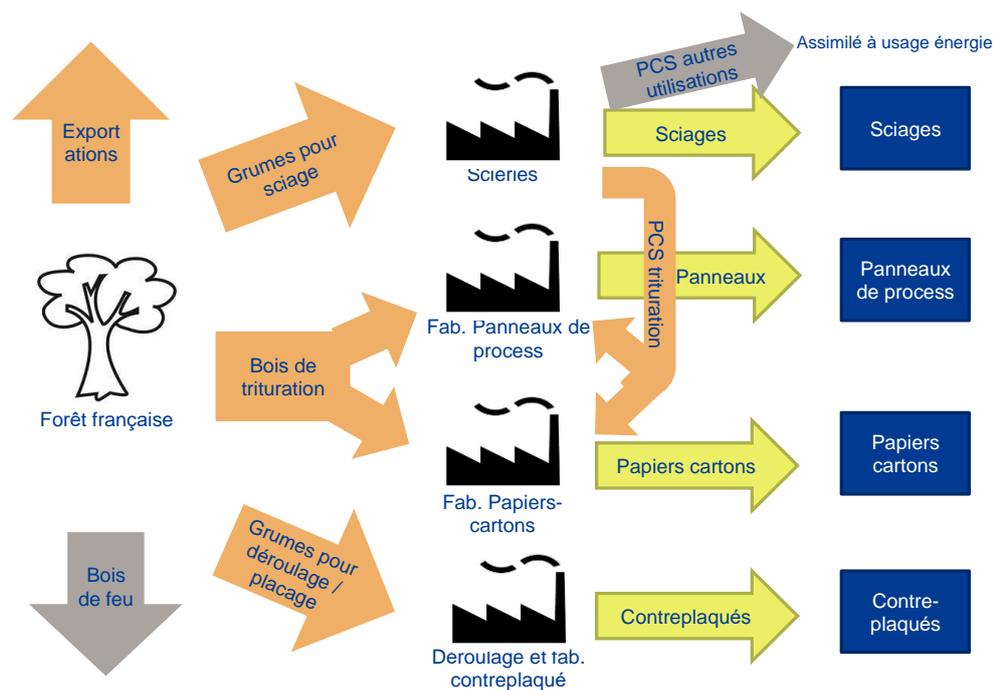
Les statistiques de production de sciages (l'enquête annuelle Exploitations forestières et scieries (EXF-SRI) sont uniquement disponibles pour la France métropolitaine. Dans l'inventaire, les flux des produits bois issus d'Outre-mer sont donc comptabilisés en tant qu'oxydation instantanée.

Le seul territoire d'Outre-mer pour lequel une récolte de bois est estimée dans l'inventaire est la Guyane. Sur ce territoire, les pertes liées à ces récoltes sont compensées par des regains, étalés dans le temps. Les récoltes en Guyane sont estimées à environ 50 000 m<sup>3</sup> en 2000 et 90 000 m<sup>3</sup> en 2020, soit 0,2% environ de la récolte métropolitaine. L'hypothèse d'oxydation instantanée est une hypothèse conservatrice appliquée en attendant d'inclure des estimations plus fines basées sur des données plus précises sur le devenir des bois récoltés en Outre-mer.

#### Bois énergie et déchets :

Les PLR entrant dans ces deux catégories sont comptabilisés dans des secteurs séparés (respectivement secteur énergie, et secteur traitement des déchets) par la méthode d'oxydation instantanée. La figure ci-dessous procure une vision d'ensemble (simplifiée) des flux principaux qui structurent l'ensemble de la méthode. En gris figurent les flux non pris en compte dans la méthode, ici parce qu'ils concernent une utilisation énergétique :

Figure 67 : Vision d'ensemble des flux utilisés dans la méthode



### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances provenant des produits bois.

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances provenant des produits bois.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
25/01/2024	MJ	16/02/2024	EM

## BARRAGE DE PETIT-SAUT (GUYANE)

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.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	4H
CEE-NU / NFR	(hors champ)
SNAPc (extension CITEPA)	11.34.02
CE / directive IED	(hors champ)
CE / E-PRTR	(hors champ)
CE / directive GIC	(hors champ)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Surface	Modèle développé par EDF

### Niveau de méthode :

Rang 3

### Références utilisées :

- [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
- [599] GUERIN F. - Emission de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) 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 jour de données de la thèse de F. GUERIN pour le barrage de Petit-Saut, 2013

### Caractéristiques de la catégorie (NIR) :

La mise en eau d'un barrage est une source potentielle de CH<sub>4</sub> et CO<sub>2</sub> par dégradation de la biomasse immergée. La mise en eau en 1994 du barrage de Petit Saut en Guyane a conduit à inonder 300 km<sup>2</sup> 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.

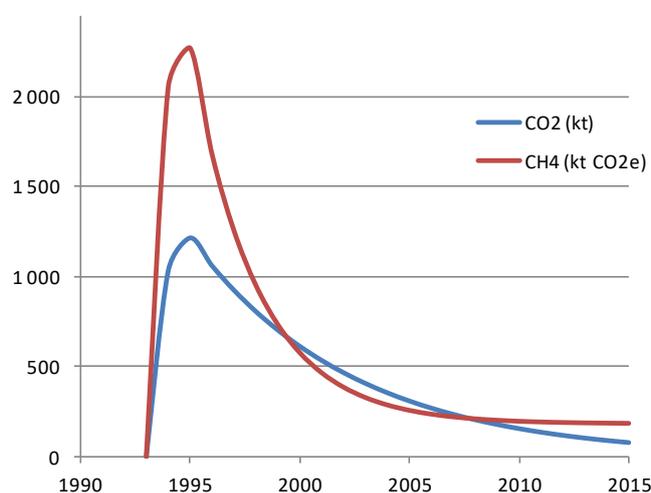
### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### Emissions de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>

Les émissions de CH<sub>4</sub> et de CO<sub>2</sub> du barrage de Petit-Saut ont récemment été mises à jour sur la base des dernières données disponibles dans la publication de DESCLOUX [600], telles que présentées dans le tableau ci-dessous :

Figure 68 : Emissions de CH<sub>4</sub> et de CO<sub>2</sub> dues au barrage de Petit-Saut en Guyane

année	CH <sub>4</sub> (t)	CO <sub>2</sub> (kt)
1994	97 587	1 034
1995	107 904	1 217
1996	79 807	1 062
1997	59 668	926
1998	45 233	808
1999	34 887	704
2000	27 471	614
2001	22 155	536
2002	18 345	467
2003	15 613	408
2004	13 656	355
2005	12 253	310
2006	11 248	270
2007	10 527	236
2008	10 011	206
2009	9 640	179
2010	9 375	156
2011	9 184	136
2012	9 048	119
2013	8 951	104
2014	8 880	90
2015	8 829	79
2016	8 793	69
2017	8 768	60
2018	8 749	52
2019	8 736	46
2020	8 727	40
2021	8 720	35
2022	8 715	30



#### Emissions de N<sub>2</sub>O

Aucune émission n'est attendue pour ce secteur.

#### Emissions de Gaz fluorés

Aucune émission n'est attendue pour ce secteur.

## Déchets

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
09/01/2024	VM	22/02/2024	JV/JPC

## TRAITEMENT DES DECHETS

Cette section concerne les activités relatives au traitement des déchets solides, au traitement et au rejet des eaux usées domestiques et industrielles mais aussi, conformément aux lignes directrices internationales sur les inventaires d'émissions nationaux, la crémation, les feux de véhicules et les feux de bâtiments.

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

#### Déchets solides

Les différents procédés de traitement des déchets mis en œuvre engendrent des rejets parfois significatifs de polluants comme le CH<sub>4</sub> 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 toutes natures 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.

Les déchets solides sont éliminés au travers des filières de traitement suivantes :

- Le stockage en Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND),
- L'incinération (déchets non dangereux, déchets industriels dangereux, déchets de soins, boues, etc.) et le brûlage (déchets agricoles, feux de déchets verts),
- Les procédés biologiques (compostage industriel et domestique, méthanisation),
- Le tri en vue de la valorisation.

Les installations de traitement recevant des déchets ménagers et assimilés (DMA) font l'objet d'un recensement spécifique de l'ADEME, au travers des enquêtes bisannuelles « ITOM » (Installations de Traitement des Ordures Ménagères) qui concernent l'ensemble des territoires métropolitain et ultramarins (DROM et COM). Les autres déchets (hors DMA) sont traités dans des installations dédiées (incinérateurs de déchets dangereux, incinérateurs de déchets de soins, incinérateurs de boues, décharges de déchets de BTP, etc.).

La part des déchets ménagers traités 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 40% 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 à près de 18%.

Dans l'inventaire national, conformément aux lignes directrices internationales sur les inventaires d'émissions nationaux, aucune émission n'est associée au procédé de tri et recyclage des déchets.

## 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).

## Références

Cf. sections sous-sectorielles

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
11/01/2024	VM	22/02/2024	JV/JPC

## STOCKAGE DE DECHETS SOLIDES

Cette section se rapporte aux Installations de Stockage des Déchets Non Dangereux (ISDND), de type géré compacté, géré non compacté et non géré (cas de l'OM hors UE).

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	5.A.1 et 5.A.2
CEE-NU / NFR	5.A.1 et 5.A.2
SNAPc (extension CITEPA)	09.04.01 et 09.04.02
CE / directive IED	5.4
CE / E-PRTR	5.d
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Quantités stockées depuis 1950	Valeurs nationales annuelles déduites

### Niveau de méthode :

Rang 2

### Références utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [32] ADEME - Inventaire des installations de traitement des déchets (enquête périodique ITOM)
- [368] ADEME - Campagnes MODECOM (1993, 2007, 2017)
- [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
- [607] GIEC - Guidelines 2006, Volume 5, Chapitre 3, Table3.2
- [731] GIEC - IPCC 2019 Waste Tool (modèle de cinétique de dégradation d'ordre 1 des déchets)
- [732] GIEC - Guidelines 2006, Volume 5, Chapitre 2, Table 2.4
- [734] SESSI/INSEE - Enquête Biological treatment of wastes (2006, 2008, 2012) sur la production des déchets dans l'industrie
- [949] République Française - Circulaire du 14 avril 1962 relative à l'évacuation et au traitement des ordures ménagères
- [1071] EMEP/EEA/2023 - Chapter 5.A - Solid waste disposal on land - Table 3-1
- [1082] Commissariat général au développement durable - Production et traitement des déchets en

## France

[1217] GIEC - Guidelines 2019, Volume 5, Chapitre 3, Table3.1

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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 géré compacté et géré non compacté. Dans les territoires d'outre-mer non inclus dans l'UE, des sites de stockage non gérés sont également considérés.

Au début des années 90, la France (métropole et territoires d'outre-mer inclus dans l'UE) comptait près de 500 ISDND de plus de 3 000 tonnes/an en exploitation, dont environ 315 de type compacté (recevant plus de 80% des déchets stockés) [516]. L'ADEME<sup>23</sup> comptabilisait en 2020, 187 installations en exploitation, toutes de type compacté [32].

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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

#### Type gestion des ISDND

En France, au cours du temps on peut distinguer trois principaux types de gestion des décharges : les décharges non contrôlées, les décharges contrôlées non compactées et les décharges contrôlées compactées.

#### Les décharges non contrôlées (unmanaged SWDS) :

Les décharges non contrôlées, aussi appelées « décharges brutes » ou « décharges sauvages » correspondent à un déversement de déchets sur le sol, dans une cavité, un ravin ou dans tout autre dépression de terrain. En France, c'était l'unique type de décharge jusqu'en 1935 (date d'ouverture de la première décharge dite « contrôlée »). En 1973, la circulaire du 22/02/1973 en a planifié la disparition progressive. On considère que l'apport de déchets dans ce type de décharges a définitivement cessé en 2005.

#### Les décharges contrôlées (managed) :

La décharge dite « contrôlée » est un mode de gestion introduit en France depuis l'Angleterre en 1935 pour limiter les multiples nuisances des décharges brutes. La gestion consistait à prendre quelques précautions élémentaires pour limiter les proliférations d'animaux (mouches, rats...) et de germes pathogènes. A l'origine, le but de ces pratiques de gestion était de favoriser la fermentation aérobie des déchets mais peu à peu les pratiques ont changé vers une gestion anaérobie en raison des pratiques de compaction des déchets. La circulaire de 1973 [949] spécifie alors trois 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 »)

<sup>23</sup> ADEME : Agence de la transition écologique ((établissement public national sous la tutelle du ministère de l'environnement)

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, il y a une évolution des pratiques de gestion des décharges 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 lourds 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		1934	:	1968	1969	1970	1980	1990	2000	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Type de gestion	Status																				
Contrôlé	Contrôlé - Compacté	En activité			10	19	22	224	329	357	235	234	233	227	221	220	218	209	199	193	187
	Contrôlé - Compacté	Post-exploitation																			
	Contrôlé - Non compacté	En activité	1	~	9	12	15	197	156	42											
	Contrôlé - Non compacté	Post-exploitation																			
Non contrôlé	Non contrôlé	En activité	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	= 3000	= 2000												
	Non contrôlé	Post-exploitation																			

Source : CITEPA, Graph\_ 5-i.xls/Historique\_Stockage

#### Données d'activité

Les données sur les quantités de déchets non dangereux stockés sont disponibles au travers d'enquêtes menées *a minima* tous les deux ans par l'ADEME auprès des ISDND [32]. 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 deux ans. La dernière édition de celui-ci a été publiée en 2022 et concerne les données de l'année 2020. Cette enquête et les données associées concernent l'ensemble des périmètres métropolitain et ultramarins.

Les émissions de particules liées à la manipulation des déchets sont estimées à l'aide de la quantité de déchets minéraux traités annuellement en France. Les déchets minéraux pris en compte sont : le sable, l'argile, les cendres et d'autres matériaux de remplissage produits par les activités de constructions et de démolitions.

Ces données proviennent depuis 2006 des rapports annuels du Commissariat Général au Développement Durable (Traitement de déchets en France). Pour la période avant 2006, les données ne sont pas disponibles et sont considérées constantes [1082].

#### Quantités de polluants générés

Les déchets mettent plusieurs années à se décomposer, essentiellement en CH<sub>4</sub> et CO<sub>2</sub>, et en faible proportion d'autres polluants (COVNM, H<sub>2</sub>S...).

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

Une loi cinétique d'ordre 1 est utilisée pour calculer les quantités de CH<sub>4</sub> et de CO<sub>2</sub> générées par le massif de déchets sur la base des quantités de chaque type de déchets stockés chacune des années précédentes, de leur composition et du mode d'exploitation des ISDND (niveau d'anaérobiose du massif, récupération du biogaz ou non).

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Le CO<sub>2</sub> étant d'origine biogénique, il fait l'objet d'une comptabilisation particulière par rapport aux autres substances. Ces règles conduisent à ne pas prendre en compte dans le total de l'inventaire national les émissions de CO<sub>2</sub> des ISDND dans les formats de rapport CRF (catégorie 5A).

Les émissions de CO<sub>2</sub> biogéniques sont comptabilisées sur la base des quantités générées et des quantités de CH<sub>4</sub> non captées oxydées en CO<sub>2</sub> lors de la traversée de la couverture.

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

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).

$$E_{CH_4} = E_{CH_4\_contrôlé\_compacté} + E_{CH_4\_contrôlé\_non\_compacté} + E_{CH_4\_non\_contrôlé}$$

Les émissions de CH<sub>4</sub> sont estimées selon la méthodologie préconisée dans les Lignes Directrices 2006 du GIEC.

L'outil mis à disposition par le GIEC (IPCC 2019 Waste Tool [731]) est utilisé pour faire les calculs de la cinétique d'ordre 1.

- les quantités totales stockées utilisées en entrée des feuilles de calcul sont issues des données statistiques nationales,
- les feuilles de calcul du GIEC [731] ont été démultipliées afin de répondre au besoin de rapportage de la CCNUCC :
  - chaque territoire dispose de ses propres feuilles de calcul (métropole, territoires d'outre-mer inclus dans l'UE, territoires d'outre-mer non inclus dans l'UE) avec un paramétrage adapté à la zone climatique,
  - chaque type de site dispose de ses propres feuilles de calcul (contrôlé compacté, contrôlé non compacté, non contrôlé).

Le calcul des émissions se fait donc au sein d'un « système de calcul » composé :

- de fichiers contenant les données d'entrée par territoire (quantités, composition)
- de sept feuilles de calculs (copies de l'IPCC 2019 Waste Tool [731]) correspondant aux usages suivants :
  - 1 dédiée aux ISDND contrôlées compactées de métropole
  - 1 dédiée aux ISDND contrôlées non compactées de métropole
  - 1 dédiée aux ISDND contrôlées compactées des territoires d'OM inclus dans l'UE

- 1 dédiée aux ISDND contrôlées non compactées des territoires d'OM inclus dans l'UE
  - 1 dédiée aux ISDND contrôlées compactées des territoires d'OM non inclus dans l'UE
  - 1 dédiée aux ISDND contrôlées non compactées des territoires d'OM non inclus dans l'UE
  - 1 dédiée aux décharges non contrôlées des territoires d'OM non inclus dans l'UE
- d'un fichier de compilation et d'export vers la base de données d'inventaire nationale.

#### Quantités traitées :

Les données sur les quantités de déchets non dangereux stockés sont essentiellement disponibles au travers d'enquêtes menées par l'ADEME auprès des ISDND (dites ITOM [32]) métropolitain et ultramarins. 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 rétro-polées 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 2019 Waste Tool considère les catégories de déchets suivantes des lignes directrices 2019 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 2019 Waste Tool est estimée sur la base :

- d'enquêtes de caractérisation des déchets ménagers (dites MODECOM [368]) réalisée en 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.

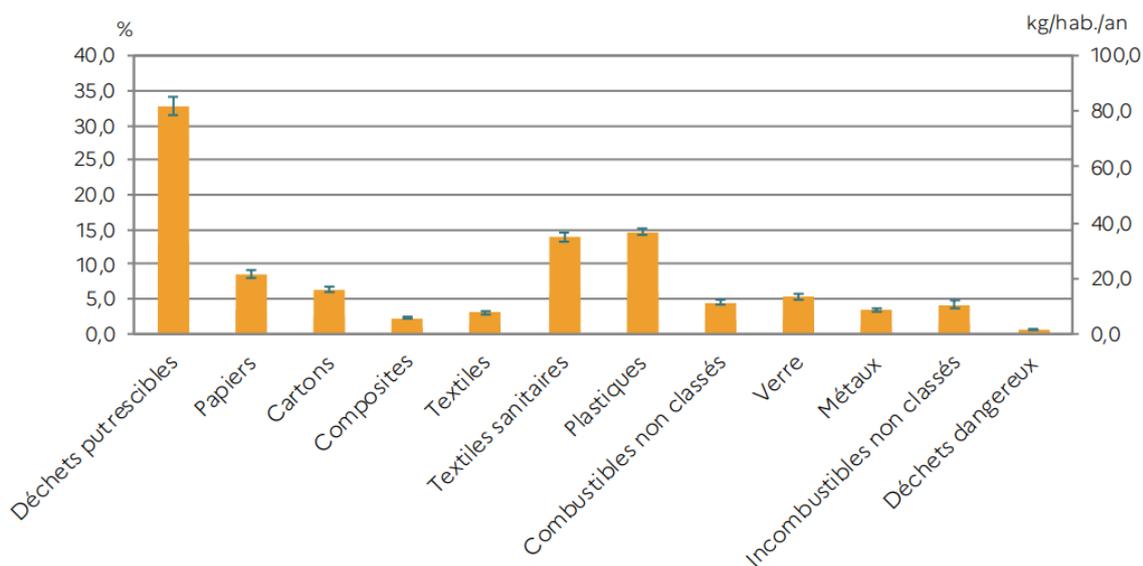
Les enquêtes MODECOM de l'ADEME permettent en particulier de caractériser les ordures ménagères résiduelles (OMR), aussi appelées « poubelle grise », c'est-à-dire les déchets des ménages en mélange ne faisant pas l'objet d'une collecte sélective. Ces déchets finissent en stockage ou en incinération. Ces enquêtes successives présentent l'évolution de la production d'ordures ménagères entre 1993, 2007 et 2017.

Tableau 23 - **Évolution de la production d'ordures ménagères : comparaison 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	1993	2007
Déchets putrescibles	20 %	30,9 %	3,8 %	30 %	39,6 %	28,6 %	32,2 %
Papiers	16 %	10,3 %	1,1 %	16 %	10,5 %	16,1 %	14,6 %
Cartons	10 %	5,7 %	0,5 %	10 %	5,7 %	9,3 %	6,9 %
Composites	1 %	1,7 %	0,3 %	1 %	1,7 %	1,4 %	1,7 %
Textiles	3 %	2,3 %	0,5 %	3 %	2,3 %	2,6 %	1,9 %
Textiles sanitaires	3 %	10,5 %	1,1 %	3 %	10,6 %	3,1 %	8,7 %
Plastiques	11 %	11,4 %	0,6 %	12 %	11,7 %	11,1 %	11,2 %
Combustibles NC	3 %	2,4 %	0,5 %	3 %	2,6 %	3,3 %	2,1 %
Verre	7 %	5,8 %	0,7 %	10 %	6,3 %	13,1 %	12,5 %
Métaux	4 %	2,9 %	0,3 %	4 %	3,0 %	4,1 %	3,0 %
Incombustibles NC	2 %	2,6 %	0,6 %	7 %	5,3 %	6,8 %	4,3 %
Déchets dangereux	1 %	0,8 %	0,3 %	1 %	0,8 %	0,5 %	0,7 %
Éléments fins < 20 mm	19 %	12,7 %	0,9 %	0 %	0,0 %	0,0 %	0,3 %
<b>TOTAL</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>		<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>

Source : ADEME, MODECOM 2007

Figure 3 : OMR – Composition en pourcentage massique et ratio par habitant par catégorie



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.

		GIEC										
MODECOM 1993		Food	Garden	Paper	Wood	Textile	Nappies	Rubber and Leather	Plastics, other inert	Sludge	Hazardous waste	Construction and demolition
A D E M E	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 moyennement évolutifs	Déchets organiques		100,0%								
		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%		
	Déchets non évolutifs	Compost		100,0%								
		Résidus de traitement	25,4%	4,6%	27,0%	3,0%	3,0%	3,0%		34,0%		
		Equipement hors d'usage								100,0%		
		Déchets non évolutifs										100,0%
Déchets non évolutifs	Déchets non évolutifs											100,0%
	Déchets non évolutifs											100,0%
	Déchets non évolutifs										100,0%	
	Déchets non évolutifs										100,0%	

		GIEC										
MODECOM 2007		Food	Garden	Paper	Wood	Textile	Nappies	Rubber and Leather	Plastics, other inert	Sludge	Hazardous waste	Construction and demolition
A D E M E	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 moyennement évolutifs	Déchets organiques		100,0%								
		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%		
	Déchets non évolutifs	Compost		100,0%								
		Résidus de traitement	33,6%	6,0%	17,9%	2,6%	2,3%	10,6%		27,0%		
		Equipement hors d'usage								100,0%		
		Déchets non évolutifs										100,0%
Déchets non évolutifs	Déchets non évolutifs											100,0%
	Déchets non évolutifs											100,0%
	Déchets non évolutifs										100,0%	
	Déchets non évolutifs										100,0%	

		GIEC										
MODECOM 2017		Food	Garden	Paper	Wood	Textile	Nappies	Rubber and Leather	Plastics, other inert	Sludge	Hazardous waste	Construction and demolition
A D E M E	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 moyennement évolutifs	Déchets organiques		100,0%								
		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%		
	Déchets non évolutifs	Compost		100,0%								
		Résidus de traitement	26,5%	6,3%	17,3%	4,6%	3,0%	13,9%		28,4%		
		Equipement hors d'usage								100,0%		
		Déchets non évolutifs										100,0%
Déchets non évolutifs	Déchets non évolutifs											100,0%
	Déchets non évolutifs											100,0%
	Déchets non évolutifs										100,0%	
	Déchets non évolutifs										100,0%	

Les enquêtes de production de déchets de l'industrie de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE), réalisées tous les deux à quatre ans, permettent d'obtenir la répartition de la composition des déchets banals triés de l'industrie manufacturière par type de traitement (dont le stockage) selon des catégories directement

allouables aux catégories du GIEC : métaux, verre, plastiques, papier/cartons, textiles caoutchouc et bois.

Les inventaires des installations de traitement des déchets (dont les installations de stockage) ont un long historique (le premier datant de 1975) et ont été réalisés d'abord par l'Association Technique pour l'eau et l'Environnement (ASTEE, anciennement Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux AGHTM) puis par l'ADEME à partir de 1995. Les enquêtes permettent de collecter des données sur la quantité de déchets et, dans le cas des enquêtes ITOM de l'ADEME, sur le type de déchets stockés. Dans les premières enquêtes la composition des déchets correspondait à une quinzaine de catégories : déchets verts, ordures ménagères, boues et déchets organiques, déchets industriels banals, résidus de traitement/déchets secondaires (tels que les refus de compostage), déchets dangereux, déblais/gravats, mâchefers, matériaux recyclables équipement hors d'usage et autres. Depuis 2006, la collecte des données se fait selon une nomenclature plus détaillée comportant plus de 120 catégories, dont près de 40 sont présentes dans les installations de stockage. Mais des parts importantes des déchets sont incluses dans les catégories « ordures ménagères résiduelles » (environ 30%) et « déchets industriels banals en mélange » (plus de 25%). Ces catégories sont respectivement allouées aux catégories GIEC selon les résultats de l'enquête MODECOM et de l'enquête de l'INSEE.

En outre, deux catégories supplémentaires de déchets peuvent être considérées dans l'IPCC Waste Tool : les boues d'assainissement et les déchets industriels. Les émissions liées au stockage des boues d'assainissement en ISDND, non explicitement considérées dans les lignes directrices 2006 du GIEC (Volume 5, Chapitre 2), sont donc estimées séparément dans l'inventaire national. La catégorie « déchets industriels » de l'outil IPCC 2019 Waste Tool est utilisée pour prendre en compte les déchets de construction et de démolition et les déchets dangereux stockés en ISDND.

Cependant, on note que les catégories de déchets considérées dans l'IPCC 2019 Waste Tool ne couvrent pas l'intégralité des catégories des lignes directrices 2019 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 « papier/carton » qui présente une teneur en Carbone Organique Degradable (DOC) similaire.

Les catégories de déchets considérées dans l'inventaire national sont donc les suivantes :

- Déchets alimentaires (via la composition des déchets stockés),
- Déchets verts (via la composition des déchets stockés),
- Papier/carton (via la composition des déchets stockés),
- Bois (via la composition des déchets stockés),
- Textiles (via la composition des déchets stockés),
- Textiles sanitaires (via la composition des déchets stockés),
- Boues d'assainissement (via la catégorie dédiée),
- Déchets de construction et de démolition (via la catégorie « déchets industriels ») et déchets dangereux.

Zone climatique :

Pour la métropole, la zone climatique « tempérée humide » a été retenue.

Pour tous les territoires d'OM, la zone climatique « tropicale humide » a été retenue car elle correspond à la situation des territoires les plus peuplés (St Pierre et Miquelon, seul territoire situé en dehors d'une zone tropicale humide, ne représente que 0,2% de la population d'Outre-Mer).

Constantes de vitesse (k) et demi-vie ( $t_{1/2}$ ):

La valeur de demi-vie,  $t_{1/2}$ , est le temps que prend le DOC, dans le déchet, pour se réduire à la moitié de sa masse initiale. Dans le modèle DPO et dans les équations figurant dans ce Volume, la constante de réaction k est utilisée. La relation entre k et  $t_{1/2}$  est :  $k = \ln(2)/t_{1/2}$ .

Les constantes de vitesse proposées par défaut par les lignes directrices 2006 du GIEC (et reprises dans l'IPCC 2019 Waste Tool) pour les zones climatiques sélectionnées ont été appliquées, excepté pour la catégorie « déchets industriels ».

Pour les « déchets industriels » les constantes proposées par défaut par l'IPCC 2019 Waste Tool ont été modifiées pour correspondre à celles proposées dans les lignes directrices 2006 pour les déchets de démolition et de construction.

Carbone Organique dégradable (DOC) :

Le carbone organique dégradable est le carbone organique qui se trouve dans les déchets et qui se prête à la décomposition biochimique. Les valeurs du carbone organique dégradable proposées pour chaque catégorie de déchets dans les Lignes Directrices 2006 du GIEC [732] sont appliquées.

A noter que la fraction des déchets rejetés par les plateformes de compost correspond à des déchets après compostage. Les déchets rapidement dégradables sont éliminés lors du compostage, c'est pourquoi ce type de déchets est classé comme modérément dégradable.

Fraction décomposée du DOC ( $DOC_f$ ) :

La fraction de carbone organique dégradable qui se décompose ( $DOC_f$ ) est une estimation de la fraction de carbone qui est réellement dégradée dans les SWDS et reflète le fait qu'une part de carbone organique dégradable ne se dégrade pas ou se dégrade très lentement, en conditions anaérobies dans la décharge.

Cette fraction est variable en fonction du type de déchets :

- 0,1 pour les déchets peu évolutifs (wood)
- 0,5 pour les déchets moyennement évolutifs (paper, textiles, nappies),
- 0,7 pour les déchets fortement évolutifs (food, garden, sludge, MSW).

Ces fractions sont issues du raffinement de 2019 des Lignes Directrices du GIEC.

Facteurs de correction du méthane (MCF) :

Les pratiques de stockage des déchets varient en fonction du contrôle, du placement des déchets et de la gestion des décharges. Le coefficient de correction CH<sub>4</sub> (MCF) permet de prendre en considération ces différences et doit donc être interprété comme un coefficient de correction de la gestion des déchets qui reflète la dimension de gestion à laquelle il correspond.

Les facteurs de correction du méthane (MCF) proposés par défaut dans le raffinement de 2019 des lignes directrices 2006 [1217] ont été attribués aux trois types d'installation de stockage existant en France.

Les ISDND contrôlées non compactées correspondent aux décharges anaérobies (MCF = 1) définies dans le raffinement des 2019 des Lignes Directrices 2006 du GIEC.

Du fait de pratiques visant à favoriser les conditions aérobies, les décharges contrôlées non compactées bien gérées sont attribuées à la catégorie des décharges semi-aérobie (MCF = 0,5) du raffinement de 2019 des Lignes Directrices 2006 du GIEC.

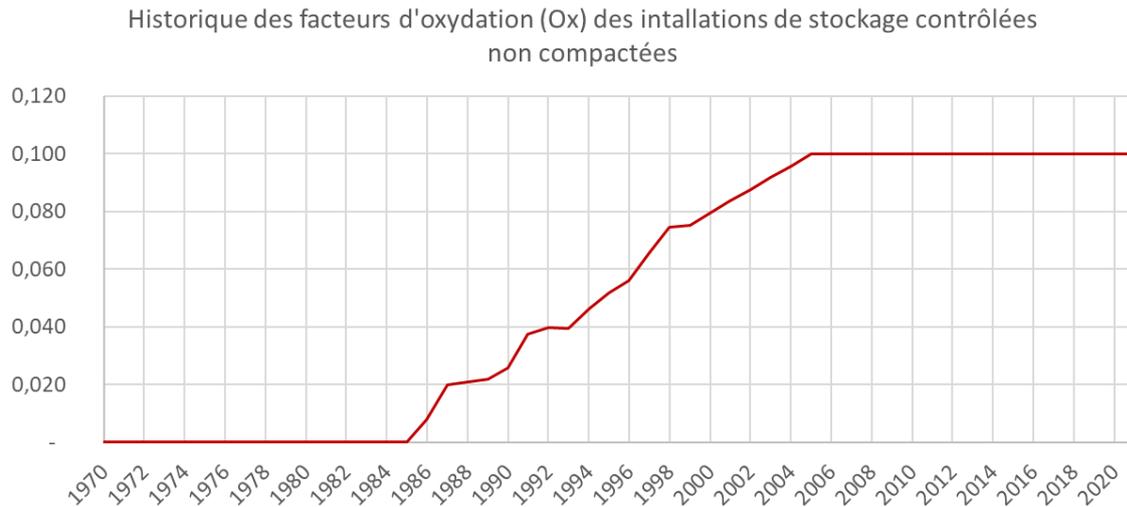
Les décharges non contrôlées d'Outre-mer sont considérées avec un MCF de 0,4. Les décharges non contrôlées existaient historiquement en Métropole. Cependant, ne pouvant pas les distinguer des décharges contrôlées non compactées, elles sont considérées dans une même catégorie.

#### Facteur d'oxydation (Ox) :

Le facteur d'oxydation (Ox) de 0,1 recommandé par défaut dans le raffinement des 2019 des Lignes Directrices 2006 du GIEC pour les décharges anaérobies est appliqué pour les ISDND contrôlées compactées, qu'elles soient encore en activité ou non.

Concernant les installations de stockage contrôlées non compactées et les décharges non gérées, le facteur d'oxydation national dépend de la part des sites encore en activité, correspondant à l'usage de la valeur 0 pour les sites en activité et 0,1 pour les sites en post-exploitation.

Année	Ox	Année	Ox	Année	Ox
1970	0,000	1986	0,008	2002	0,088
1971	0,000	1987	0,020	2003	0,092
1972	0,000	1988	0,021	2004	0,096
1973	0,000	1989	0,022	2005	0,100
1974	0,000	1990	0,026	2006	0,100
1975	0,000	1991	0,038	2007	0,100
1976	0,000	1992	0,040	2008	0,100
1977	0,000	1993	0,039	2009	0,100
1978	0,000	1994	0,046	2010	0,100
1979	0,000	1995	0,052	2011	0,100
1980	0,000	1996	0,056	2012	0,100
1981	0,000	1997	0,066	2013	0,100
1982	0,000	1998	0,075	2014	0,100
1983	0,000	1999	0,075	2015	0,100
1984	0,000	2000	0,079	2016	0,100
1985	0,000	2001	0,084	Après 2016	0,100



Source : Citepa, Graph\_5-i.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 CH<sub>4</sub> dans le biogaz capté (F) :

La fraction de CH<sub>4</sub> dans le biogaz généré (F) de 0,5 recommandée par défaut dans le raffinement des 2019 des Lignes Directrices 2006 du GIEC est appliquée.

#### CH<sub>4</sub> 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 [19] (destiné en premier usage au rapportage EPRTR) a été adaptée et permet notamment aux exploitants d'ISDND de déclarer les quantités de CH<sub>4</sub> 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 CH<sub>4</sub>) utilisés pour estimer les flux annuels de CH<sub>4</sub> torché et valorisés. Les quantités de CH<sub>4</sub> mis sur le réseau de transport et/ou distribution de gaz naturel (après concentration et épuration du biogaz) sont également à déclarer dans le registre par les exploitants d'ISDND. Les quantités annuelles de CH<sub>4</sub> capté dans les ISDND depuis 2012 sont donc estimées selon une approche bottom-up basée sur des quantités mesurées conformément aux exigences des Lignes Directrices 2006 du GIEC.

Les quantités de CH<sub>4</sub> torché et/ou valorisé sur leur site peuvent être renseignées par le biais d'une méthode calculatoire ou par mesures. Suite à la revue CCNUCC de septembre 2021, une enquête a été réalisée auprès des sites ayant déclaré une méthode par calcul pour les quantités de CH<sub>4</sub> torché et/ou valorisé. Dans les faits, pour la totalité des sites contactés, il s'agissait de déclarations fondées sur des mesures (calcul de moyennes de mesures) et la méthode « par mesure » aurait dû être mentionnée au lieu de la méthode « par calcul ».

Dans la continuité du dialogue initié avec les sites de stockage, une enquête a été réalisée en 2022 afin de consolider les données (valorisation et torchage du gaz) issues de la plateforme de déclaration GEREPE sur la période 2012-2021. Cette enquête a été réalisée en collaboration avec les syndicats représentants de la filière, la Fnade et AMORCE et a permis de consolider les données issues de sites de stockage de divers groupes représentant de l'activité du stockage : Nicollin, Paprec, Séché, Suez ou Véolia. Au total près de 90 sites ont répondu à cette enquête permettant de consolider les données d'inventaires relatives aux quantités de gaz de décharge torché ou valorisé entre 2012 et 2021. Cette enquête a été prolongée en 2023 afin d'inclure les éléments communiqués par les éventuels retardataires.

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 rétro-polées sur la période 1990-2008 sur la base de données relatives à la part des déchets stockés dans des installations équipées d'un système de captage et de système de combustion du biogaz [19, 32, 515].

### ***Emissions de N<sub>2</sub>O***

Il n'y a pas d'émission attendue de cette substance.

### ***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances.

### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

Les émissions de polluants sur les ISDND sont liées, d'une part, à la dégradation des déchets (COVNM...) et, d'autre part, à la combustion du biogaz capté (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>...).

### ***Emissions de SO<sub>2</sub>***

Les émissions de SO<sub>2</sub> issues de la combustion du biogaz sont considérées comme proportionnelles à la teneur en soufre du biogaz, aussi bien pour le torchage que pour la valorisation énergétique. La teneur en soufre retenue, de 200 ppmv, est issue d'une campagne de mesures pour la caractérisation du biogaz menée par l'INERIS [513].

### ***Emissions de NO<sub>x</sub>***

Les émissions de NO<sub>x</sub> sont déterminées sur la base des quantités de CH<sub>4</sub> détruites par combustion (torchage ou valorisation énergétique) et d'un FE moyen qui intègre le type d'équipement de combustion présent sur les sites (torchères, chaudières/TAG, TAC, moteurs). Les facteurs d'émission par type d'équipement sont issus de l'US-EPA [514]. Le facteur d'émission déduit est de 0,82 g/m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>.

### ***Emissions de COVNM***

Les émissions de COVNM sont considérées comme proportionnelles aux émissions de méthane et sont calculées en considérant qu'elles sont égales à 1% des émissions de CH<sub>4</sub> [42]. Elles sont donc variables au cours du temps et dépendent des caractéristiques du site de stockage.

### ***Emissions de CO***

Les émissions issues de la combustion du biogaz ne sont pas estimées.

### ***Emissions de NH<sub>3</sub>***

Les émissions sont négligeables.

***Emissions de poussières totales en suspension (TSP)***

Les facteurs d'émission des TSP associés à la manipulation des déchets minéraux sont tirés du guide EMEP/EEA 2023, Tier 1 [1071].

Le brûlage des déchets sur site, qui n'est, en principe, plus pratiqué aujourd'hui, est une source de particules, qui, faute d'informations sur la nature de cette ancienne activité, n'est pas comptabilisée. De même, les brûlages accidentels pouvant survenir ne sont pas pris en compte.

***Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>***

Les émissions issues de la combustion du biogaz sont négligées.

Comme pour les TSP, les facteurs d'émission des PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> associés à la manipulation des déchets minéraux sont tirés du guide EMEP/EEA 2023, Tier 1 [1071]. Faute d'information, le facteur d'émission des PM<sub>1,0</sub> est considéré égal à celui des PM<sub>2,5</sub>.

***Métaux lourds (ML)***

Les émissions issues de la combustion du biogaz sont négligées.

***Dioxines et furannes (PCDD-F)***

Les émissions issues de la combustion du biogaz sont négligées.

***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Les émissions issues de la combustion du biogaz sont négligées.

***Polychlorobiphényles (PCB)***

Les émissions issues de la combustion du biogaz sont négligées.

***Hexachlorobenzène (HCB)***

Les émissions issues de la combustion du biogaz sont négligées.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
09/01/2024	VM	22/02/2024	JV/JPC

## TRAITEMENTS BIOLOGIQUES DES DECHETS

Cette section se rapporte aux installations de compostage de déchets (industriel et domestique) et aux installations de méthanisation de déchets ménagers.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	5.B.1 (compostage) et 5.B.2 (méthanisation)
CEE-NU / NFR	5.B.1 (compostage) et 5.B.2 (méthanisation)
SNAPc (extension CITEPA)	09.10.05 et 09.10.06
CE / directive IED	5.3 pour le compostage et hors champ pour la méthanisation
CE / E-PRTR	5.c pour le compostage et hors champ pour la méthanisation
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Quantités de déchets traités	Facteurs d'émission nationaux

### Niveau de méthode :

Rang 2

### Références utilisées :

- [32] ADEME - Inventaire des installations de traitement des déchets (enquête périodique ITOM)
- [237] ADEME / CTBA - Impacts environnementaux de la gestion biologique des déchets, 2006
- [359] GIEC 2006 - Biological Treatment of Solid Waste, Vol. 5, p 4.4
- [954] Hans Oonk, C. Lambert, I. Cakars, M. Havranek - GHG emissions from biological treatment of waste - Overview of existing measurements, Mars 2017
- [1111] ADEME - Audit des plateformes de compostage de déchets organiques en France avec analyses de composts, d'eaux de ruissèlement et bilan des aides ADEME au compostage de déchets verts - Mars 2007
- [1218] ADEME - Impact sanitaire et environnemental du compostage domestique, 2015
- [1219] ADEME - Programme de recherche de l'ADEME sur les émissions atmosphériques du compostage - connaissances acquises et synthèse bibliographique, 2012

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Le compostage consiste en un traitement biologique de matières organiques fermentescibles en milieu aérobie (en présence d'oxygène). La matière organique brute est décomposée et mise en tas (cette décomposition peut être naturelle ou contrôlée). Ensuite, les micro-organismes entament le processus de décomposition qui peut être divisé en deux phases : la phase active et la phase de durcissement.

Pendant la phase active, la température augmente rapidement en raison du métabolisme des micro-organismes. Cette augmentation hygiénise le matériau en tuant les pathogènes, les graines de mauvaises herbes et en décomposant les composés phytotoxiques. La phase active dure plusieurs semaines.

Une fois que toutes les matières facilement dégradables ou digestibles ont été consommées, l'activité des thermophiles diminue et la phase de maturation commence. La décomposition des matières organiques se poursuit en substances humiques. Il n'y a pas de temps clairement défini pour la maturation (cela dépend de la matière première, de la méthode de compostage et de la gestion).

Le compostage est terminé lorsque les matières premières ne se décomposent plus activement et sont biologiquement et chimiquement stables.

Les principaux déchets traités par compostage sont les déchets verts (tontes de pelouses, feuilles...) parfois en mélange avec des boues d'épuration urbaines ou industrielles, les déchets agro-alimentaires, déchets de cuisine, effluents d'élevage (fientes, fumiers, etc.), ainsi que la fraction fermentescible des déchets ménagers.

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).

Le compostage permet de produire un compost pouvant servir d'amendement organique ou de matière fertilisante.

La méthanisation consiste en un traitement de matières organiques en milieu anaérobie (en l'absence d'oxygène). Tous les déchets organiques peuvent être traités par méthanisation, à l'exception des déchets ligneux (déchets de bois). Les principaux déchets traités sont les effluents industriels et les boues d'épuration urbaines ou industrielles, la fraction fermentescible des déchets ménagers, les déchets agricoles.

La méthanisation de matières organiques permet de produire du biogaz (55 à 60% de CH<sub>4</sub>) et du digestat (comportant une fraction solide et une fraction liquide) pouvant servir de fertilisant.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

#### Données d'activité

Les quantités de déchets traités par compostage et méthanisation en métropole et dans les territoires inclus dans l'UE sont disponibles dans les enquêtes bisannuelles ITOM de l'ADEME<sup>24</sup> [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,

<sup>24</sup> ADEME : Agence de la transition écologique (établissement public national sous la tutelle du Ministère en charge de l'environnement)

- 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.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Le CO<sub>2</sub> étant d'origine biogénique, il fait l'objet d'une comptabilisation particulière par rapport aux autres substances. Ces règles conduisent à ne pas prendre en compte dans le total de l'inventaire national les émissions de CO<sub>2</sub> issues des traitements biologiques dans les formats de rapport CRF (catégorie 5B).

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Les émissions de CH<sub>4</sub> 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 CH<sub>4</sub>** = émissions totales de CH<sub>4</sub> au cours de l'année d'inventaire, Gg CH<sub>4</sub>

M<sub>i,j</sub> = masse de déchets organiques traités par le type de traitement biologique i, Gg

FE = facteur d'émission pour le traitement i, g CH<sub>4</sub>/kg de déchets traités

i = compostage ou méthanisation

j = catégorie de déchets traités

R = quantité totale de CH<sub>4</sub> récupérée au cours de l'année d'inventaire, Gg CH<sub>4</sub>

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 d'une l'étude ADEME « Audit des plates-formes de compostage de déchets organiques en France avec analyses de composts » [1111] et de l'enquête ITOM [32] de l'année 2022 (relative à l'année 2020). Ces deux études donnent des informations sur la répartition entre compostage fermé ou à l'air libre pour 2006 et 2020. Pour les années inconnues, la répartition est estimée par interpolation linéaire entre 2006 et 2020 et considérée constante pour les années avant 2006 et après 2020.

Ces facteurs d'émission par type de déchets sont considérés identiques pour les territoires métropolitains et ultramarins. Toutefois, la composition des déchets compostés est

différente pour chacun des territoires. Les facteurs d'émission sont ainsi estimés en fonction des quantités compostées de chaque catégorie pour chaque territoire et évoluent sur la période d'inventaire en conséquence.

Catégorie	Déchets verts	Ordures ménagères	Biodéchets	Boues et autres
Unité	g CH <sub>4</sub> /t			
Sites aérés (ouverts et fermés)	2 500	2 500	2 500	2 500
Sites non aérés (ouverts)	4 300	2 700	2 700	2 700
FE moyen	3 414	2 602	2 602	2 602

Pour le compostage domestique, une étude de l'ADEME intitulée « Impact sanitaire et environnemental du compostage domestique » est considérée [1218]. Les émissions associées au compostage domestique ne sont estimées que pour le territoire métropolitain.

Catégorie	Déchets verts	Déchets de cuisine
Unité	g CH <sub>4</sub> /t	g CH <sub>4</sub> /t
FE moyen	73	26

Les émissions de CH<sub>4</sub> 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].

Catégorie	Facteurs d'émission de CH <sub>4</sub> (g CH <sub>4</sub> /kg de déchets traités)	
	Sur une base de poids sec	Sur une base de poids humide
Digestion anaérobie dans les installations de biogaz	2	0,8

Le facteur d'émission moyen (toutes catégories de déchets confondues) du compostage et de la méthanisation évolue du fait des quantités respectives de chaque catégorie de déchets entrants dans les installations de traitement.

Enfin pour le compostage et pour la méthanisation des déchets, le taux d'humidité est considéré variable selon la catégorie de déchets considérés.

%	Déchets verts	Ordures ménagères	Biodéchets	Boues et autres
Taux d'humidité	60,0	36,9	63,3	70

### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

La production de compost émet du N<sub>2</sub>O. Ces émissions sont estimées sur la base de l'équation par défaut proposée dans les Lignes directrices 2006 du Giec :

$$Emissions\ de\ N_2O = \sum_{i,j} (M_{i,j} * EF_{i,j}) * 10^{-3}$$

Où :

**Émissions de N<sub>2</sub>O** = émissions totales de N<sub>2</sub>O au cours de l'année d'inventaire, Gg N<sub>2</sub>O

M<sub>i,j</sub> = masse de déchets organiques traités par le type de traitement biologique i, Gg

FE = facteur d'émission pour le traitement i, g N<sub>2</sub>O/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] et de l'enquête ITOM [32] de l'année 2022 (relative à l'année 2020). Ces 2 études donnent des informations sur la répartition entre compostage fermé ou à l'air libre pour 2006 et 2020. Pour les années inconnues, la répartition est estimée par interpolation linéaire entre 2006 et 2020 et considérée constante pour les années avant 2006 et après 2020.

Ces facteurs d'émission par type de déchets sont considérés identiques pour les territoires métropolitains et ultramarins. Toutefois, la composition des déchets compostés est différente pour chacun des territoires. Les facteurs d'émission sont ainsi estimés en fonction des quantités compostées de chaque catégorie pour chaque territoire et évoluent sur la période d'inventaire en conséquence.

Catégorie	Déchets verts	Ordures ménagères	Biodéchets	Boues et autres
Unité	g N <sub>2</sub> O/t			
Sites aérés (ouverts et fermés)	77	77	77	77
Sites non aérés (ouverts)	31	79	79	79
FE moyen	54	78	78	78

Pour le compostage domestique, une étude de l'ADEME intitulée « Impact sanitaire et environnemental du compostage domestique » est considérée [1218]. Les émissions associées au compostage domestique ne sont estimées que pour le territoire métropolitain.

Catégorie	Déchets verts	Déchets de cuisine
Unité	g N <sub>2</sub> O/t	g N <sub>2</sub> O/t
FE moyen	74	35

#### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

##### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Le facteur d'émission moyen (toutes catégories de déchets confondues) évolue chaque année du fait des quantités respectives de chaque catégorie de déchets entrants en centre de compostage [237].

Celui-ci est construit sur la base d'une étude de l'ADEME de 2012 « Programme de recherche de l'ADEME sur les émissions atmosphériques du compostage - connaissances acquises et synthèse bibliographique » [1219]. Les facteurs d'émission proposés sont :

kg N-NH <sub>3</sub> / t MS	Déchets verts	Ordures ménagères	Biodéchets	Boues et autres
FE moyen	0,2	1	5	5

Ces facteurs d'émission par type de déchets sont considérés identiques pour les territoires métropolitains et ultramarins. Toutefois, la composition des déchets compostés est différente pour chacun des territoires. Les facteurs d'émission sont ainsi estimés en fonction des quantités compostées de chaque catégorie pour chaque territoire et évoluent sur la période d'inventaire en conséquence.

Les facteurs d'émissions en g NH<sub>3</sub>/ t sont ensuite construits sur la base des masses molaires de l'azote et de l'ammoniac (soit 17/14) et sur la base du taux d'humidité.

%	Déchets verts	Ordures ménagères	Biodéchets	Boues et autres
Taux d'humidité	60,0	36,9	63,3	70

Catégorie	Déchets verts	Ordures ménagères	Biodéchets	Boues et autres
Unité	g NH <sub>3</sub> / t			
FE moyen	97,14	766,21	2 228,21	1 821,43

Pour le compostage domestique, une étude de l'ADEME intitulée « Impact sanitaire et environnemental du compostage domestique » est considérée [1218]. Les émissions associées au compostage domestique ne sont estimées que pour le territoire métropolitain.

Catégorie	Déchets verts	Déchets de cuisine
Unité	g NH <sub>3</sub> /t	g NH <sub>3</sub> /t
FE moyen	29	13,5

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
11/01/2024	VM	11/01/2024	JV

## INCINERATION DE DECHETS

Cette section se rapporte aux installations d'incinération de déchets et aux feux ouverts de déchets.

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

#### 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 industriels dangereux,
- déchets hospitaliers,
- etc.

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 non 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 industrielles exclusivement dédiées à l'incinération, sur les sites de production des déchets incinérés (dits « in-situ ») ou encore sur des sites mixtes de traitement des déchets.

On distingue des incinérateurs avec récupération d'énergie et des incinérateurs sans récupération d'énergie.

La co-incinération de déchets (par exemple en cimenteries) est également pratiquée en France.

En complément, la France dispose de crématoriums dédiés à l'incinération des corps.

#### Feux ouverts

Bien que ce soient des activités illicites, plusieurs types de feux sont pratiqués en France et pris en compte dans l'inventaire national :

- feux de plastiques agricoles,
- feux de déchets verts,
- brûlage de câbles électriques.

En complément, les feux de véhicules sont également considérés dans l'inventaire national.

#### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
11/01/2024	VM	22/02/2024	JV/JPC

## INCINERATION DE DECHETS DANGEREUX

Cette section se rapporte aux installations d'incinération de déchets dangereux.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	5.C.1
CEE-NU / NFR	5.C.1.b.ii
SNAPc (extension CITEPA)	09.02.02
CE / directive IED	5.1 et 5.2 (partiellement)
CE / E-PRTR	5.a (partiellement)
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up intégral (toutes les installations sont considérées individuellement)	Le plus souvent spécifiques du secteur voire de chaque installation concernant SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , particules, métaux lourds et PCDD-F. Valeurs nationales pour les autres substances y compris CO <sub>2</sub> .

### Niveau de méthode :

Rang 2 (selon les substances (c'est-à-dire la spécificité des facteurs d'émission de chaque installation et leur poids dans l'ensemble du secteur)).

Rang 1 pour les GES.

### Références utilisées :

Principales sources d'information utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [70] CITEPA - BOUSCAREN R. - Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et de composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996
- [157] ADEME, données internes communiquées par le département Déchets
- [284] Arrêté du 20 septembre 2002 modifié relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux.
- [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

[569] EMEP/EEA 2023 - Industrial waste incineration including hazardous waste and sewage sludge (page 9, table 3-2)

[570] EMEP / EEA 2023 - 6.C Industrial waste incineration including hazardous waste and sewage sludge (page 8, table 3-1)

[737] SYPREL - Panorama de la gestion des déchets dangereux (tonnages traités en France de 2012 à 2019)

[1083] INERIS - Emissions de Bibenzodioxines et dibenzofuranes lors de la combustion de câbles électriques - 1999

[1084] INERIS - Emissions atmosphériques de dioxines et de furanes bromées lors de feux accidentels de déchets contenant des substances bromés - 2019

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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). L'incinération de déchets dangereux est considérée comme une activité présente uniquement en métropole. Aucune émission n'est allouée aux territoires ultramarins.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

#### 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 ».

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### Emissions de CO<sub>2</sub>

Le facteur d'émission du CO<sub>2</sub> 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.

kg/Mg	1990	2000	2010	2020
CO <sub>2</sub>	811,5	810,5	882,9	951,5

### *Facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> associés à l'incinération de déchets industriels (kg CO<sub>2</sub>/Mg de déchets)*

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

A partir de 2004, les données des déclarations annuelles des sites industriels [19] sont utilisées et permettent de calculer un facteur d'émission de CH<sub>4</sub> 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.

g/Mg	1990	2000	2010	2020
CH <sub>4</sub>	12,1	12,1	12,4	12,6

### *Facteurs d'émission de CH<sub>4</sub> associés à l'incinération de déchets industriels (g CH<sub>4</sub>/Mg de déchets)*

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

A partir de 2004, les données des déclarations annuelles des sites industriels [19] sont utilisées et permettent de calculer un facteur d'émission de N<sub>2</sub>O 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.

g/Mg	1990	2000	2010	2020
N <sub>2</sub> O	96,8	99,2	37,4	11,0

### *Facteurs d'émission de N<sub>2</sub>O associés à l'incinération de déchets industriels (g N<sub>2</sub>O/Mg de déchets)*

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances.

### *Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :*

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>**

Le facteur d'émission est calculé à partir des données déclarées par les sites pour les années 1994, et depuis 2003 [19]. L'estimation réalisée par les industriels s'appuie généralement sur les valeurs réglementairement mesurées en continu sur les cheminées. Pour les années antérieures à 1994, la valeur de 1994 est retenue. Pour les années entre 1994 et 2003, les facteurs d'émission sont interpolés linéairement.

g/Mg	1990	2000	2010	2020
SO <sub>2</sub>	220,9	125,9	76,3	47,1

### *Facteurs d'émission de SO<sub>2</sub> associés à l'incinération de déchets dangereux (g SO<sub>2</sub>/Mg de déchets)*

**Emissions de NOx**

Le facteur d'émission est calculé à partir des données déclarées par les sites pour les années 1994, et depuis 2003 [19]. L'estimation réalisée par les industriels s'appuie généralement sur les valeurs réglementairement mesurées en continu sur les cheminées. Pour les années antérieures à 1994, la valeur de 1994 est retenue. Pour les années entre 1994 et 2003, les facteurs d'émission sont interpolés linéairement.

g/Mg	1990	2000	2010	2020
NOx	1 199	1 236	921,2	735,4

*Facteurs d'émission de NO<sub>x</sub> associés à l'incinération de déchets dangereux (g NO<sub>x</sub>/Mg de déchets)*

**Emissions de COVNM**

Un facteur d'émission moyen est déterminé à partir des déclarations annuelles des émissions de 1994 et depuis 2000 [19]. Le facteur d'émission de 1994 est appliqué aux années antérieures. Le facteur d'émission de 1994 est appliqué aux années antérieures. Les années intermédiaires sont interpolées.

g/Mg	1990	2000	2010	2020
COVNM	30,4	22,9	10,0	12,6

*Facteurs d'émission de COVNM associés à l'incinération de déchets dangereux (g COVNM/Mg de déchets)*

**Emissions de CO**

A partir de 2002, un facteur d'émission moyen est calculé sur la base des déclarations des sites spécifiques [19]. L'estimation réalisée par les industriels s'appuie généralement sur les valeurs réglementairement mesurées en continu sur les cheminées. En l'absence de données disponibles, la valeur de 2002 est appliquée rétrospectivement jusqu'en 1990.

g/Mg	1990	2000	2010	2020
CO	149,3	149,3	74,1	67,0

*Facteurs d'émission de CO associés à l'incinération de déchets dangereux (g CO/Mg de déchets)*

**Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions de NH<sub>3</sub> ne sont pas estimées dans l'inventaire national.

**Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Pour les années antérieures à 1996, le facteur d'émission figurant dans la littérature [68] est retenu que ce soit pour les sites spécifiques ou in-situ. A partir de 2004, le facteur d'émission est calculé sur base des émissions des sites [19] pour les sites spécifiques et pour les sites in-situ. L'estimation réalisée par les industriels s'appuie généralement sur les valeurs réglementairement mesurées en continu sur les cheminées. Les facteurs d'émission

moyens entre les sites in-situ et spécifiques sont obtenus en pondérant les émissions obtenues par les activités correspondantes. Les facteurs d'émissions pour les années 1997 à 2003 sont interpolés.

g/Mg	1990	2000	2010	2020
NH <sub>3</sub>	600,0	287,6	34,6	5,3

*Facteurs d'émission de TSP associés à l'incinération de déchets dangereux (g TSP/Mg de déchets)*

La forte baisse des émissions constatée depuis 2002 est liée à l'application de l'arrêté du 20 septembre 2002 relatifs à l'incinération [284] et dont les échéances d'application s'échelonnaient jusqu'en 2005. Des variations interannuelles persistent notamment en raison de la composition des déchets traités.

### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Les émissions de particules de diamètre inférieur à 10 µm sont déterminées en utilisant la granulométrie issue du guide EMEP/EEA [370].

tranche granulométrique	% répartition des TSP totales
PM <sub>10</sub>	40
PM <sub>2,5</sub>	40
PM <sub>1</sub>	(nd)

(nd) : non disponible

### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

La part du BC dans les émissions de PM<sub>2,5</sub> est de 3,5% selon le guide EMEP/EEA [569].

### **Métaux lourds (ML)**

Pour les années antérieures à 1996, le facteur d'émission figurant dans la littérature [70] est retenu que ce soit pour les sites spécifiques ou in-situ. A partir de l'année 2004, le facteur d'émission est calculé sur base des émissions déclarées par les sites [19] pour les sites spécifiques et pour les sites in-situ. L'estimation réalisée par les industriels s'appuie généralement sur les valeurs réglementairement mesurées deux fois par an sur les cheminées. Les facteurs d'émission moyens des installations d'incinération de déchets dangereux (in-situ et spécifiques) sont obtenus en pondérant les émissions obtenues par les activités correspondantes. Les facteurs d'émission pour les années 1997 à 2003 sont interpolés.

La forte baisse des émissions de ML constatée depuis 2002 est liée à l'application de l'arrêté du 20 septembre 2002 relatifs à l'incinération [284] et dont les échéances d'application s'échelonnaient jusqu'en 2005. Des variations interannuelles persistent notamment en raison de la composition des déchets traités.

Pour certains métaux (Cd, Pb et Zn), les dispositions réglementaires continuent à produire des effets après cette date, ce qui explique les fortes réductions constatées.

mg/Mg	1990	2000	2010	2020
As	100,0	74,4	53,2	2,2

Cd	400,0	199,3	19,4	16,2
Cr	558,4	496,8	226,7	58,0
Cu	1 200	607,5	106,9	103,4
Hg	1 000	586,6	184,5	22,9
Ni	900,0	480,6	86,7	60,6
Pb	653,3	588,9	159,6	72,2
Zn	588,4	568,2	652,8	840,2

*Facteurs d'émission de métaux lourds associés à l'incinération de déchets dangereux (mg ML/Mg de déchets)*

### **Dioxines et furannes (PCDD-F)**

Les émissions de PCDD-F sont majoritairement issues du brûlage illégal de câbles électriques (afin d'en revendre le cuivre) et dans une moindre mesure de la combustion des déchets industriels.

Concernant ces dernières, pour les années antérieures à 1996, le facteur d'émission figurant dans la littérature [70] est retenu que ce soit pour les sites spécifiques ou in-situ. A partir de l'année 2004, le facteur d'émission est calculé sur base des émissions des sites [19] pour les sites spécifiques et pour les sites in-situ. L'estimation réalisée par les industriels s'appuie généralement sur les valeurs réglementairement mesurées en semi-continu sur les cheminées. Un facteur moyen des installations d'incinération de déchets dangereux (in-situ et spécifiques) est obtenu en pondérant les facteurs d'émission obtenus par les activités correspondantes. Les facteurs d'émission pour les années 1997 à 2003 sont interpolés.

La forte baisse des émissions de PCDD-F associées à l'incinération des déchets industriels constatée depuis 2002 est liée à l'application de l'arrêté du 20 septembre 2002 relatifs à l'incinération [284] et dont les échéances d'application s'échelonnaient jusqu'en 2005. Des variations interannuelles persistent notamment en raison de la composition des déchets traités.

Les émissions associées au brûlage illégal des câbles électriques sont estimées sur la base d'études de l'INERIS fournissant la quantité de câbles brûlés [1083] et le facteur d'émission associé [1084]. Le principal élément limitant dans la détermination de ces rejets est lié à la nature de l'activité considérée. Cette pratique étant illégal, aucun suivi n'existe. Par conséquent les émissions sont considérées constantes sur toute la série temporelle. Cependant la méthode est susceptible d'évoluer afin de prendre en compte une potentielle évolution de la quantité de câbles brûlés.

### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Pour les années antérieures à 1996, les émissions sont estimées au moyen d'un facteur d'émission de HAP totaux de 150 mg/Mg de déchets incinérés, tiré de l'étude Bouscaren [70]. A partir de 2009, le facteur d'émission de 20 mg/tonne de déchets pour les HAP totaux proposé dans EMEP/EEA 2023 est utilisé [570]. Un facteur moyen des installations d'incinération de déchets dangereux (in-situ et spécifiques) est obtenu en pondérant les facteurs d'émission obtenus par les activités correspondantes. Les facteurs d'émission pour les années 1997 à 2008 sont interpolés.

Faute d'informations relatives à la distribution selon les différents composés pour ces installations assez particulières et, compte-tenu de la contribution marginale de ce type

d'émetteur dans les émissions nationales, la répartition des quatre HAP (BaP, BbF, BkF et IndPy) dans l'inventaire est fixée arbitrairement en proportions équivalentes.

***Polychlorobiphényles (PCB)***

Le facteur d'émission relatif à l'incinération de déchets industriels dans des sites spécifiques ou dans des sites industriels autorisés hors incinération des PCB est de 4600 µg / Mg déchets [357]. Quant à l'incinération de PCB, la valeur retenue pour 1990 est de 10 g / Mg [358]. Un facteur moyen des installations d'incinération de déchets dangereux (in-situ et spécifiques) et d'incinération des PCB est obtenu en pondérant les facteurs d'émission par les activités correspondantes. Les facteurs d'émission des années suivantes sont supposés suivre une évolution similaire à celle des PCDD-F à partir de 1990 (dioxine-like).

***Hexachlorobenzène (HCB)***

Les émissions ne sont pas estimées.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
09/01/2024	VM	22/02/2024	JV/JPC

## CREMATION

Cette section se rapporte à la crémation des corps humains.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	5.C.1
CEE-NU / NFR	5.C.1.b.v
SNAPc (extension CITEPA)	09.09.01
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Nombre de corps incinérés	Facteurs d'émission nationaux (AP, PM, GES) complétés des facteurs d'émission EMEP (ML, POP)

### Niveau de méthode :

Rang 1

### Références utilisées :

Principales sources d'information utilisées :

- [68] OFEFP - Mesures pour la réduction des émissions de PM10. Document Environnement n° 136 - juin 2000
- [183] CITEPA - IER - Study on particulate matter emissions : particle size distribution chemical composition and temporal profiles - Interreg III for ASPA, January 2005
- [224] Fédération française de crémation, données statistiques
- [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
- [565] EMEP / EEA - Emission Inventory Guidebook 2023 - 5.C.1.b.v Cremation (p9 - table 3-1)
- [681] Emissions of Black carbon and Organic carbon in Norway 1990-2011
- [1019] Traitement des résultats de campagnes de mesures réalisées en 2018 ou 2019 par les crematoriums dans le but de vérifier leur conformité avec l'arrêté du 28 janvier 2010 et transmis aux Agence Régionales de Santé (ARS)

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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. Entre 270 000 et 290 000 crémations sont opérées ces dernières années année dans plus de 200 crématoriums [224].

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Données d'activité

Le niveau d'activité correspond au nombre de corps incinérés annuellement en métropole et dans les territoires ultramarins (Guadeloupe, Martinique, La Réunion et la Nouvelle Calédonie). 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.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions sont supposées 100% être d'origine organique (les accessoires qui brûlent contiennent en fait une faible part de carbone d'origine non organique).

Il n'est donc pas pris en compte dans les rapportages réalisés dans le cadre de la CCNUCC.

#### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Les émissions sont supposées négligeables.

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Les émissions sont supposées négligeables.

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

Le nombre d'incinérations est en augmentation rapide depuis quelques décennies. C'est d'ailleurs pourquoi la législation (arrêté du 28 janvier 2010) a imposé des Valeurs Limites d'Emissions (VLE) à respecter plus contraignantes (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, HCl, TSP) ou complémentaires (Hg, PCDD-F et composés organiques) à respecter à partir de janvier 2018. Le respect des nouvelles VLE a nécessité la mise en place de techniques d'abattement en cheminée (filtres à manches 31/80, filtres à bougies 18/80, divers non identifiés 12/80) dans la plupart des crématoriums. La majorité de ces installations ont commencé à s'équiper en 2015 et en 2018 tous les sites n'étaient pas encore équipés.

En outre, l'usage de Hg dans les amalgames dentaires est en réduction en raison de la toxicité connue du mercure et les considérations esthétiques qui ont conduit ces dernières décennies au développement de nouveaux matériaux de restauration (résines).

Les facteurs d'émissions considérés sont les mêmes pour tous les territoires de l'inventaire (métropole, DROM et COM).

#### **Emissions de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM, CO**

Le facteur d'émission est issu d'une étude nationale sur la caractérisation des émissions atmosphériques d'un échantillon représentative du parc français de crematorium [325]. Aucune évolution temporelle n'est considérée.

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions ne sont pas estimées.

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Le facteur d'émission de 1990 à 2014 est issu d'une étude nationale sur la caractérisation des émissions atmosphériques d'un échantillon représentative du parc français de crematorium [325].

Les FE appliqués à partir de 2018 ont été déduits des campagnes de mesures réalisées en 2018 ou 2019 par les crematoriums dans le but de vérifier leur conformité avec l'arrêté du 28 janvier 2010 et transmis aux Agence Régionales de Santé (ARS) [1019].

Une période de transition de trois ans entre 2014 et 2018 a été considérée car les crematoriums ont pour la plupart attendu l'approche de l'échéance pour s'équiper.

### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Les émissions de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont estimées sur la base de la granulométrie des TSP provenant respectivement de l'OFEFP [68] et d'une étude spécifique [183]. La granulométrie PM<sub>1,0</sub>, n'est pas renseignée.

tranche granulométrique	% répartition des PM totales
PM <sub>10</sub>	90
PM <sub>2,5</sub>	80
PM <sub>1,0</sub>	n.d.

n.d. : non disponible

### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

La part du BC dans les émissions de PM<sub>2,5</sub> est de 50% selon l'inventaire de BC norvégien [681].

### **Métaux lourds (ML)**

L'activité de crémation est à l'origine d'émissions de métaux lourds.

Les facteurs d'émission de 1990 à 2014 proviennent du guide EMEP/EEA 2023 [565] hormis celui pour le mercure qui provient d'une étude nationale [325].

Le FE de Hg appliqué à partir de 2018 a été déduit des campagnes de mesures réalisées en 2018 ou 2019 par les crematoriums dans le but de vérifier leur conformité avec l'arrêté du 28 janvier 2010 et transmis aux Agence Régionales de Santé (ARS) [1019].

Concernant les autres métaux lourds, la tendance observée sur le Hg du fait de la mise en place de techniques d'abattement a été appliquée.

### **Dioxines et furannes (PCDD-F)**

Le facteur d'émission de 1990 à 2014 est issu d'une étude nationale sur la caractérisation des émissions atmosphériques d'un échantillon représentatif du parc français de crematorium [325].

Le FE appliqué à partir de 2018 a été déduit des campagnes de mesures réalisées en 2018 ou 2019 par les crematoriums dans le but de vérifier leur conformité avec l'arrêté du 28 janvier 2010 et transmis aux Agence Régionales de Santé (ARS) [1019].

Une période de transition de 3 ans entre 2014 et 2018 a été considérée car les crematoriums ont pour la plupart attendu l'approche de l'échéance pour s'équiper.

#### ***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Le facteur d'émission de 1990 à 2014 est issu du Guidebook EMEP /EEA [565].

Les FE appliqués à partir de 2015 sont calculés en appliquant la tendance observée sur les PCDD-F.

#### ***Polychlorobiphényles (PCB)***

Le facteur d'émission de 1990 à 2014 est issu du Guidebook EMEP /EEA [565].

Les FE appliqués à partir de 2015 sont calculés en appliquant la tendance observée sur les PCDD-F.

#### ***Hexachlorobenzène (HCB)***

Le facteur d'émission de 1990 à 2014 est issu du Guidebook EMEP /EEA [565].

Les FE appliqués à partir de 2015 sont calculés en appliquant la tendance observée sur les PCDD-F.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
09/01/2024	VM	22/02/2024	JV/JPC

## INCINERATION DE DECHETS HOSPITALIERS

Cette section se rapporte aux installations d'incinération de déchets hospitaliers.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	5.C.1
CEE-NU / NFR	5.C.1.b.iii
SNAPc (extension CITEPA)	09.02.07
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Quantités de déchets incinérées	Valeurs nationales par défaut, sauf métaux lourds (EMEP) et les GES

### Niveau de méthode :

Rang 1-3 (selon les substances (c'est-à-dire la spécificité des facteurs d'émission de chaque installation et leur poids dans l'ensemble du secteur)).

Rang 1 pour les GES.

### Références utilisées :

Principales sources d'information utilisées :

- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [32] ADEME - Inventaire des installations de traitement des déchets (enquête périodique ITOM)
- [42] OFEFP - Coefficients d'émission des sources stationnaires, éditions 1995 et 2000
- [68] OFEFP - Mesures pour la réduction des émissions de PM10. Document environnement n° 136, juin 2001
- [188] AER - Facteurs d'émission pour certains polluants organiques persistants : PCP, HAP, HCB et PCP, octobre 2004 (rapport pour CITEPA, non publié)
- [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

[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

[571] EMEP / EEA 2023 - 5.C Clinical waste incineration (page 8, table 3-1)

[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

[681] Emissions of Black carbon and Organic carbon in Norway 1990-2011

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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]. L'incinération de déchets hospitaliers est considérée comme une activité présente uniquement en métropole. Aucune émission n'est allouée aux territoires ultramarins.

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 Mg 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 Mg pour 200 incinérateurs. Elle chute à 25 000 Mg en 1997 pour 40 à 50 incinérateurs. La réduction de l'incinération in-situ provient du fait que, suite à l'enquête du Ministère en charge 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 ».

**Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :****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.

**Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :****Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions sont estimées au moyen d'un facteur d'émission de 880 kg/Mg de déchets calculé à partir du taux de carbone dans les déchets hospitaliers, du ratio de carbone d'origine fossile et du facteur d'oxydation fournis dans les lignes directrices 2006 du GIEC [621]. Cette valeur concerne à la fois l'incinération in-situ et l'incinération en centre spécifique.

**Emissions de CH<sub>4</sub>**

Les émissions de CH<sub>4</sub> sont estimées au moyen du même facteur d'émission proposé pour les déchets municipaux dans les lignes directrices du GIEC 2006, en utilisant le facteur d'émission le plus élevé pour les fours à grille de 0,20 g/Mg de déchets [619].

**Emissions de N<sub>2</sub>O**

Les émissions de N<sub>2</sub>O sont estimées au moyen d'un facteur d'émission de 100 g/Mg de déchets fourni dans les lignes directrices du GIEC 2006 [620]. Cette valeur concerne à la fois l'incinération in situ et l'incinération en centre spécifique.

**Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances.

**Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

La forte baisse des émissions de la plupart des polluants constatée depuis 2002 est liée à l'application de l'arrêté du 20 septembre 2002 relatifs à l'incinération [283] et dont les échéances d'application s'échelonnaient jusqu'en 2005.

**Emissions de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM, CO**

Jusqu'en 1996, les émissions sont estimées au moyen d'un facteur d'émission issu de l'OFEPF [42]. A partir de 2002, le facteur d'émission est basé sur les déclarations annuelles de rejets des exploitants [19]. L'estimation réalisée par les industriels s'appuie généralement sur les valeurs réglementairement mesurées en continu sur les cheminées pour les NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> et CO. Les années intermédiaires (1997 - 2001) sont calculées par interpolation linéaire 1996-2002. Cette valeur est appliquée à la fois à l'incinération in situ et à l'incinération en centre spécifique.

g/Mg	1990	2000	2010	2020
SO <sub>2</sub>	1 300	802,2	66,1	226,8
NO <sub>x</sub>	1 500	1 389	1 055	1 338

COVN M	300	216,9	3,2	30,3
CO	1 400	1 103	133,8	341,9

*Facteurs d'émission de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM et CO associés à l'incinération de déchets hospitaliers (g/Mg de déchets)*

### **Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions ne sont pas estimées.

### **Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Jusqu'en 1996, les émissions sont estimées au moyen d'un facteur d'émission issu de l'OFEFP [42]. A partir de 2002, le facteur d'émission est basé sur les déclarations annuelles de rejets des exploitants [19]. L'estimation réalisée par les industriels s'appuie généralement sur les valeurs réglementairement mesurées en continu sur les cheminées. Les années intermédiaires (1997 - 2001) sont calculées par interpolation linéaire 1996-2002. Cette valeur est appliquée à la fois à l'incinération in-situ et à l'incinération en centre spécifique.

g/Mg	1990	2000	2010	2020
TSP	2 200	1 248	17,8	24,4

*Facteurs d'émission de TSP associés à l'incinération de déchets hospitaliers (g TSP/Mg de déchets)*

### **Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Les émissions de particules de diamètre inférieur à 10 µm et à 2,5 µm sont déterminées en utilisant la granulométrie issue de l'OFEFP [68].

tranche granulométrique	% répartition des TSP totales
PM <sub>10</sub>	95
PM <sub>2,5</sub>	78
PM <sub>1</sub>	(nd)

(nd) : non disponible

### **Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

La part du BC dans les émissions de PM<sub>2,5</sub> est de 18% selon l'inventaire de BC norvégien [681].

### **Métaux lourds (ML)**

Jusqu'en 1998, les émissions de ML sont estimées, sauf exception, au moyen d'un facteur d'émission issu du Guidebook EMEP / CORINAIR [17]. A partir de 2002, le facteur d'émission est basé sur les déclarations annuelles de rejets des exploitants [19]. L'estimation réalisée par les industriels s'appuie généralement sur les valeurs réglementairement mesurées deux fois par an sur les cheminées. La moyenne des années 2002 et 2003 est appliquée aux

années intermédiaires (1997 - 2001). Cette valeur est appliquée à la fois à l'incinération in-situ et à l'incinération en centre spécifique.

Les émissions de sélénium associées sont supposées nulles.

mg/Mg	1990	2000	2010	2020
As	70,0	82,9	123,0	13,7
Cd	8 000	5 155	120,6	3,8
Cr	500,0	378,0	453,3	2,7
Cu	600,0	421,4	257,2	22,3
Hg	4 500	2 950	311,7	67,0
Ni	300,0	245,7	208,9	15,5
Pb	64 000	39 655	226,8	23,5
Zn	21 000	14 166	231,7	275,2

*Facteurs d'émission de métaux lourds associés à l'incinération de déchets hospitaliers (mg ML/Mg de déchets)*

### **Dioxines et furannes (PCDD-F)**

Jusqu'en 1998, les émissions de PCDD-F sont estimées au moyen d'un facteur d'émission issu du Guidebook EMEP / CORINAIR [17]. A partir de 2002, le facteur d'émission est basé sur les déclarations annuelles de rejets des exploitants [19]. L'estimation réalisée par les industriels s'appuie généralement sur les valeurs réglementairement mesurées en semi-continu sur les cheminées. La moyenne des années 2002 et 2003 est appliquée aux années intermédiaires (1997 - 2001). Cette valeur est appliquée à la fois à l'incinération in-situ et à l'incinération en centre spécifique.

L'évolution de la structure de l'activité, notamment la fermeture des sites in-situ et les dispositifs de réduction des émissions, explique la très forte baisse des émissions.

ng/Mg	1990	2000	2010	2020
PCDD-F	250 000	106 069	137,7	309,9

*Facteurs d'émission de PCDD-F associés à l'incinération de déchets hospitaliers (ng PCDD-F/Mg de déchets)*

### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Les émissions des quatre HAP (BaP, BbF, BkF et IndPy) sont estimées sur la base d'un facteur d'émission pour les HAP totaux du guide EMEP / EEA 2023 [571]. Pour des raisons liées au manque d'information et au poids relatif très faible de ce type de source dans le total national, il est supposé, jusqu'à ce que de nouvelles données soient disponibles, que les quatre HAP sont émis en proportions égales. Le facteur d'émission à considérer pour le BaP, le BbF, le BkF et l'IndPy est de 0,01 mg/Mg de déchets.

### **Polychlorobiphényles (PCB)**

Les émissions sont estimées au moyen d'un facteur d'émission de 20 000 µg/Mg de déchets tiré du Guidebook EMEP 2023 [571] appliqué en 1990 et son évolution est indexée sur celle des PCDD-F.

**Hexachlorobenzène (HCB)**

Les émissions sont estimées au moyen d'un facteur d'émission de 46 µg/Mg de déchets tiré du rapport AER [188]. Cette valeur est appliquée à la fois à l'incinération in-situ et à l'incinération en centre spécifique.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
11/01/2024	VM	22/02/2024	JV/JPC

## INCINERATION DES BOUES D'ASSAINISSEMENT

Cette section se rapporte aux installations d'incinération des boues d'assainissement.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	5.C.1
CEE-NU / NFR	5.C.1.b.iv
SNAPc (extension CITEPA)	09.02.05
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Quantités de boues incinérées	Valeurs par défaut

### Niveau de méthode :

GES : Rang 1

Polluants : Rang 1

### Références utilisées :

Principales sources d'information utilisées :

[17] EMEP / CORINAIR Guidebook

[70] CITEPA - BOUSCAREN R. - Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et de composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996.

[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

[432] GIEC - Guidelines 2006, Volume 5, Chapitre 5

[511] MEDDE/DEB - Base de Données sur les Eaux Résiduaire Urbaines

[569] EMEP/EEA 2023 - Industrial waste incineration including hazardous waste and sewage sludge (page 9, table 3-2)

[738] GIEC - Lignes Directrices 2006, Volume 5, chapitre 5, paragraphe 5.4.2

[1226] INRAE - Emissions de N<sub>2</sub>O dans la filière de traitement et de valorisation des boues - 2018

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Le traitement des eaux conduit à la production de boues résiduelles en quantité très importante. Les données les plus récentes [511] indiquent une quantité supérieure à un million de tonnes de matière sèche (MS) générée par les stations d'épuration urbaines. Leurs destinations se répartissent comme suit en 2021 :

- Epandage agricole (37,3%),
- Compostage (43,2%),
- Incinération en UIOM, STEP ou site dédié (16,1%),
- Mise en décharge (0,6%),
- Autres (2,9%).

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.

L'incinération de boues d'assainissement est considérée comme une activité présente uniquement en métropole. Aucune émission n'est allouée aux territoires ultramarins.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

L'activité correspond aux masses (en matière brute) de boues incinérées.

Les facteurs d'émission se rapportent à des matières brutes. Quand les facteurs d'émission de la littérature se rapportent à de la matière sèche, ils sont convertis en considérant une siccité des boues incinérées de 33%.

### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions sont calculées au moyen d'un facteur d'émission de 1650 kg/Mg de boues basé sur la composition des boues (teneur en Carbone de 45%) issu des Lignes Directrices 2006 du GIEC [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 CH<sub>4</sub>**

Les émissions sont calculées au moyen d'un facteur d'émission de 9,7 g/ Mg de boues (humide) proposé par défaut dans les Lignes Directrices 2006 du GIEC [738].

#### **Emissions de N<sub>2</sub>O**

Les émissions sont calculées au moyen d'un facteur d'émission de 1 640 g/ Mg de boues issu d'une étude nationale réalisée par l'INRAE : « Emissions de N<sub>2</sub>O dans la filière de traitement et de valorisation des boues » [1226].

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances.

**Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

La forte baisse des émissions de la plupart des polluants constatée depuis 2002 est liée à l'application de l'arrêté du 20 septembre 2002 relatifs à l'incinération [283] et dont les échéances d'application s'échelonnaient jusqu'en 2005.

**Emissions de SO<sub>2</sub>, de COVNM, de CO**

Jusqu'en 1996, les émissions sont estimées au moyen d'un facteur d'émission issu du Guidebook EMEP/EEA EEA [569]. A partir de 1997, il est tenu compte des VLE fixées par l'arrêté du 20 septembre 2002 qui devaient être respectées par les installations existantes au 28 décembre 2005 [283]. Une extrapolation est faite entre les données 1996 (valeur nationale par défaut) et 2006 (VLE) afin de tenir compte d'une réduction progressive du facteur d'émission.

**Emissions de NO<sub>x</sub>**

Pour les NO<sub>x</sub>, le facteur d'émission du Guidebook EMEP / EEA 2023 [569] a été pris en compte pour toute la période.

**Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions ne sont pas estimées.

**Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Les émissions sont déterminées au moyen d'un facteur d'émission de 350 g TSP / Mg de boues provenant de l'OFEPF pour les années 1990 à 1996. A partir de 2006, il est tenu compte des VLE fixées par l'arrêté du 20 septembre 2002 [283] qui devaient être respectées par les installations existantes au 28 décembre 2005. Une extrapolation est faite entre les données 1996 (valeur nationale par défaut) et 2006 (VLE) afin de tenir compte d'une réduction progressive du facteur d'émission.

**Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Les émissions de particules de diamètre inférieur à 10 µm sont déterminées en utilisant une granulométrie issue de EMEP/EEA [569].

tranche granulométrique	% répartition des PM totales
PM <sub>10</sub>	65
PM <sub>2.5</sub>	43
PM <sub>1</sub>	(nd)

(nd) : non disponible

**Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

La part du BC dans les émissions de PM<sub>2,5</sub> est de 3,5% selon le guide EMEP/EEA [569].

**Métaux lourds (ML)**

Jusqu'en 1996, les émissions de la plupart des métaux lourds sont estimées au moyen d'un facteur d'émission issu d'une étude nationale [70]. A partir de 2006, le facteur d'émission

pris en compte est celui du Guidebook EMEP / EEA 2009. Entre 1997 et 2006, la valeur des facteurs d'émissions est calculée par interpolation linéaire.

Les émissions de Pb sont estimées au moyen d'un facteur d'émission de 15 000 mg/t issu d'une étude nationale [70].

Les émissions de Zn sont estimées au moyen d'un facteur d'émission de 10 000 mg/Mg de boues issu d'une étude nationale [70].

#### ***Dioxines et furannes (PCDD-F)***

Jusqu'en 1996, les émissions sont estimées au moyen d'un facteur d'émission tiré de l'étude Bouscaren [70]. A partir de 1997, il est tenu compte des VLE fixées par l'arrêté du 20 septembre 2002 [283] qui devaient être respectées par les installations existantes au 28 décembre 2005. Une extrapolation est faite entre les données 1996 (valeur nationale par défaut) et 2006 (VLE) afin de tenir compte d'une réduction progressive du facteur d'émission.

#### ***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Le facteur d'émission provient d'un FE en HAP issu d'une étude nationale [70] auquel sont appliquées les spéciations issues des lignes directrices EMEP/EEA 2023 [569].

#### ***Polychlorobiphényles (PCB)***

Les émissions sont estimées pour la période 1990-1996 au moyen d'un facteur d'émission de 5 000 µg/Mg de boues issu d'une étude nationale [70]. A partir de 1997, les émissions tiennent compte d'une décroissance progressive calquée sur celle observée pour les dioxines.

#### ***Hexachlorobenzène (HCB)***

Jusqu'en 1996, les émissions sont estimées au moyen d'un facteur d'émission tiré du Guidebook EMEP / CORINAIR [17]. A partir de 1997, il est tenu compte des VLE fixées par l'arrêté du 20 septembre 2002 [283] qui devaient être respectées par les installations existantes au 28 décembre 2005. Une extrapolation est faite entre les données 1996 (valeur nationale par défaut) et 2006 (VLE) afin de tenir compte d'une réduction progressive du facteur d'émission.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
30/01/2023	AnD	02/02/2023	EM

## BRULAGE DE PLASTIQUES AGRICOLES

Cette section se rapporte aux feux ouverts de plastiques agricoles.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	5.C.2
CEE-NU / NFR	5.C.2
SNAPc (extension CITEPA)	09.07.01 /PLA
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Quantité de films plastiques agricoles brûlés	Facteurs d'émission spécifiques au type de plastique utilisé pour les films

### Niveau de méthode :

Rang 1

### Références utilisées :

Principales sources d'information utilisées :

[264] ADEME - dossier « Emballages vides de produits phytosanitaires (EVPP) » sur [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr), 2003

[434] Comité des Plastiques Agricoles (CPA), communication personnelle de Claude BERGER, 2010.

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Les films plastiques agricoles sont utilisés comme films de serre, pour le paillage, l'enrubannage et l'ensilage. 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.

### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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.

## Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

### **Émissions de CO<sub>2</sub>**

Les films plastiques incinérés étant en polyéthylène, un facteur d'émission de 3 143 kg/Mg de plastiques est retenu correspondant à une combustion totale du carbone contenu dans les films.

### **Émissions de CH<sub>4</sub>**

En l'absence d'informations fiables et en raison des faibles niveaux supposés, les émissions de CH<sub>4</sub> sont actuellement négligées.

### **Émissions de N<sub>2</sub>O**

En l'absence d'informations fiables et en raison des faibles niveaux supposés, les émissions de N<sub>2</sub>O sont actuellement négligées.

### **Émissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances.

## Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

En l'absence d'informations fiables et en raison des faibles niveaux supposés, les émissions de tous les polluants de cette catégorie sont actuellement négligées.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
09/01/2024	VM	22/02/2024	JV/JPC

## FEUX DE VEHICULES

Cette section se rapporte aux feux de véhicules.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	5.C.2
CEE-NU / NFR	5.E
SNAPc (extension CITEPA)	09.07.03
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Nombre de véhicules brûlés	Valeurs nationales

### Niveau de méthode :

Polluants : Rang 2

### Références utilisées :

- [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
- [739] Jared Downard & al. - Uncontrolled combustion of shredded tires in a landfill Part 1: characterization of gaseous and particles emissions, 2015
- [1084] INERIS - Emissions atmosphériques de dioxines et de furanes bromées lors de feux accidentels de déchets contenant des substances bromées

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

#### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

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 le nombre de véhicules brûlés) et ne fournit pas d'indication (dans sa version publique du moins) sur le type de véhicule (la gamme), ni sur la part des matières combustibles du véhicule ayant brûlé. La dernière édition disponible est celle de 2022 et concerne les incendies de 2021.

Il a donc été posé comme hypothèse que le nombre d'interventions correspond à un nombre de véhicules et que l'intégralité des matières combustibles du véhicule est brûlée comme dans le cas des essais menés par l'INERIS.

En outre, faute de données plus détaillées sur le parc de véhicules brûlés, il est considéré un poids moyen de 1 230 kg par véhicule brûlé (moyenne des poids des véhicules brûlés lors des essais) et une perte de poids moyenne de 16,7% (moyenne des essais réalisés) [1084].

Enfin, le périmètre géographique couvert par le rapport annuel « Services d'incendie et de secours, statistiques annuelles » [566] ne comprend que la métropole et les DROM (Guadeloupe, Mayotte, la Réunion, la Martinique et la Guyane) sans prendre en considération les COM. De plus, la provenance des incendies n'est pas renseignée, par conséquent, la totalité des émissions sont allouées à la métropole.

#### Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :

Emissions de CO<sub>2</sub>

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 CO<sub>2</sub>/Mg de matière perdue.

Emissions de CH<sub>4</sub>

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 3,10 kg CH<sub>4</sub>/Mg de matière perdue.

Emissions de N<sub>2</sub>O

Les émissions ne sont pas estimées.

Emissions de Gaz fluorés

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances.

#### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

Emissions de SO<sub>2</sub>

Les émissions ne sont pas estimées.

Emissions de NO<sub>x</sub>

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 4,1 kg NO<sub>x</sub>/Mg de matière perdue.

Emissions de COVNM

Les émissions ne sont pas estimées.

Emissions de CO

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 53 kg CO/Mg de matière perdue.

Emissions de NH<sub>3</sub>

Les émissions ne sont pas estimées.

Emissions de poussières totales en suspension (TSP)

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 83 kg TSP/Mg de matière perdue.

Emissions de PM10, PM2,5, PM1,0

Les émissions de particules de diamètre inférieur à 10 et 2,5 µm sont déterminées dans l'étude de l'INERIS [488].

tranche granulométrique	% répartition des PM totales
PM <sub>10</sub>	100
PM <sub>2.5</sub>	100
PM <sub>1</sub>	(nd)

(nd) : non disponible

Emissions de carbone suie / black carbon (BC)

La part du BC dans les émissions de PM<sub>2,5</sub> est estimé à 45% sur la base d'une étude sur la combustion des pneumatiques [739].

Métaux lourds (ML)

Le facteur d'émission provient d'une étude réalisée par l'INERIS pour le compte de l'ADEME sur les feux de véhicules [567].

g/Mg perdue	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
FE	0,39	0,71	14,07	59,33	0,38	4,02	30,67	0,39	3 344,67

Dioxines et furannes (PCDD-F)

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 395 µg I-TEQ/Mg de matière perdue.

Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Le facteur d'émission provient d'une étude réalisée par l'INERIS pour le compte de l'ADEME sur les feux de véhicules [567].

Polychlorobiphényles (PCB)

Les émissions ne sont pas estimées.

Hexachlorobenzène (HCB)

Les émissions ne sont pas estimées.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
09/01/2024	VM	22/02/2024	JV/JPC

## FEUX OUVERTS DE DECHETS VERTS

Cette section se rapporte aux feux ouverts de déchets verts.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	5.C.2
CEE-NU / NFR	5.C.2
SNAPc (extension CITEPA)	09.07.02
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Quantité de déchets verts des particuliers brulés en feux ouverts (Mg)	Valeurs nationales

### Niveau de méthode :

Polluants/GES : Rang 2

### Références utilisées :

Principales sources d'information utilisées :

[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

[741] EMEP / EEA Emission inventory guidebook 2023 - 5.C.2 Open burning of waste / Table 3-1: Tier 1 Emissions factors for small scale burning

[1196] ADEME - Déchets chiffres-clés - Edition 2020

[1197] ADEME - Gestion domestique des déchets domestiques - Juin 2020

[1225] ADEME - Baromètre Environnement - 2013 à 2022

[1275] INSEE - Statistiques annuelles de l'habitat individuelle et collectif

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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 entre 2013 et 2021 ([1196], [1197] et [1225]). 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.

La répartition des quantités de déchets verts incinérés entre métropole et DROM est faite sur la base de la répartition des maisons principales entre ces deux territoires [1275] et les facteurs d'émission entre métropole et DROM sont considérés identiques.

**Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :**

**Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :**

#### ***Emissions de CO<sub>2</sub>***

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 CH<sub>4</sub>***

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.

#### ***Emissions de N<sub>2</sub>O***

Les émissions ne sont pas estimées.

#### ***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances.

**Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

#### ***Emissions de SO<sub>2</sub>***

Les émissions sont négligées.

#### ***Emissions de NO<sub>x</sub>***

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.

#### ***Emissions de COVNM***

Le facteur d'émission des COVNM est calculé d'après l'étude de l'INERIS [488] en considérant un mélange 50 / 50 de branches et feuilles et en faisant une hypothèse sur la répartition des COVT (part des COVNM et du CH<sub>4</sub> dans le total).

#### ***Emissions de CO***

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 feuilles.

#### ***Emissions de NH<sub>3</sub>***

Les émissions ne sont pas estimées.

**Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

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 feuilles.

**Emissions de PM10, PM2,5, PM1,0**

Les émissions de particules de diamètre inférieur à 10 et 2,5 µm sont déterminées dans l'étude de l'INERIS [488].

tranche granulométrique	% répartition des PM totales
PM <sub>10</sub>	95
PM <sub>2.5</sub>	93
PM <sub>1</sub>	(nd)

(nd) : non disponible

**Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

La part du BC dans les émissions de PM<sub>2,5</sub> est de 42% selon le guide EMEP/EEA [741].

**Métaux lourds (ML)**

Les émissions ne sont pas estimées.

**Dioxines et furannes (PCDD-F)**

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 feuilles.

**Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Le facteur d'émission de chacun des 4 HAP (BaP, BbF, BkF et IndPy) provient d'une étude de l'INERIS sur les feux de déchets [488] en considérant un mélange 50 / 50 de branches et feuilles.

**Polychlorobiphényles (PCB)**

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 feuilles.

**Hexachlorobenzène (HCB)**

Les émissions ne sont pas estimées.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
15/01/2024	VM	22/02/2024	JV/JPC

## TRAITEMENTS ET REJETS DES EAUX USEES

Cette section se rapporte au traitement et au rejet des eaux usées domestiques et industrielles.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	5.D.1 (eaux domestiques) et 5.D.2 (eaux industrielles)
CEE-NU / NFR	5.D
SNAPc (extension CITEPA)	09.10.01 et 09.10.02
CE / directive IED	5.3.a/b (en partie)
CE / E-PRTR	5.c (en partie)
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Population et pollution entrante en équivalent habitant. Bottom-up intégral (toutes les installations sont considérées individuellement) pour les raffineries	Facteurs d'émission par défaut appliqués aux caractéristiques françaises (CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O) Facteur d'émission par défaut (COVNM)

### Niveau de méthode :

Rang 1 (COVNM) et 2 (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)

### Références utilisées :

- [19] DRIRE/DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [234] IFEN - Les données de l'environnement, 2002 et 2004
- [235] CEMAGREF - Communications de M. Duchêne, 2002.
- [245] MEDD - Principaux rejets industriels en France, années 1999 à 2001
- [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 rejet des eaux usées, Volume 5, chapitre 6
- [375] IFEN - Base de données EIDER, Rejets dans l'eau des principaux émetteurs industriels
- [435] FAO - Dietary Protein consumption per countries
- [436] MEDDTL - IREP, Déclarations des industriels (rejets directs et indirects en azote)
- [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

- [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
- [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 (depuis 2012)
- [1072] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, Chapter 5-D , Table 3-1
- [1073] BIPE - Les services publics d'eau et d'assainissement en France - Editions depuis 2006
- [1228] GIEC - 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands - Table 6.4
- [1243] Synthèse agences de l'eau - 2016 à 2018
- [1244] Arrêté du 2 février 1998 - article 33 - point 17 (Stations d'épuration mixtes) - Legifrance
- [1245] IRSTEA - Inventaire de GES émis lors du traitement et de la valorisation des boues d'épuration
- [1246] Crédoc - Consommation annuelle de protéines en France - 1999 à 2019
- [1283] INSEE - Taux de conformité des dispositifs d'assainissement non collectif
- [1284] IPCC GL 2006 - Refinement 2019 - Volume 5 - Chapitre 6 - Tableau 6.8A

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

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 ou en microstations aérobies), soit rejetées directement dans le milieu naturel.

La France compte plus de 22 600 stations d'épuration d'eaux usées (dites STEU ou STEP) recevant des eaux résidentielles, commerciales et industrielles qui représentaient une charge globale de 78.5 millions d'Equivalents-habitants (Eh). Des informations descriptives relatives à ce parc de STEU (capacité, type, conformité, commune d'implantation, etc.) sont mises à jour annuellement dans la Base de Données sur les Eaux Résidentielles Urbaines (BD ERU) publiée par le Ministère 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.

Les eaux usées d'une part assez importante (environ 18%) de la population sont traitées en fosses septiques, notamment dans les zones non équipées d'un réseau de collecte.

Les eaux usées d'une faible part de la population (moins de 1%) restent rejetées directement dans le milieu naturel sans traitement.

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, etc.).

**Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :**

Non pertinent

**Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :****Emissions de CO<sub>2</sub>**

Le CO<sub>2</sub> étant d'origine biogénique, il fait l'objet d'une comptabilisation particulière par rapport aux autres substances. Ces règles conduisent à ne pas prendre en compte dans le total de l'inventaire national les émissions de CO<sub>2</sub> issues du traitement de l'eau dans les formats de rapportage CRF (catégorie 5B). Ces émissions de CO<sub>2</sub> ne sont pas estimées dans l'inventaire national.

**Emissions de CH<sub>4</sub>**

Les émissions de CH<sub>4</sub> lors du traitement et du rejet des eaux usées et du traitement des boues dépendent essentiellement de deux paramètres :

- l'existence de conditions anaérobies du procédé de traitement ou du milieu dans lequel les eaux sont rejetées (avec ou sans traitement). Ce paramètre est traduit par le facteur de conversion en méthane (ou MCF) du système/milieu.
- et la charge organique des eaux/boues traitées ou rejetées. Ce paramètre est généralement traduit par la demande biologique en oxygène à 5 jours (ou DBO<sub>5</sub>) pour les eaux domestiques et demande chimique en oxygène (ou DCO) pour les eaux industrielles.

Les émissions nationales sont donc calculées séparément pour chaque procédé de traitement des eaux et des boues et type de rejet, d'une part pour les eaux domestiques et, d'autre part, pour les eaux industrielles.

**a. Traitement des EAUX****a.1/ Traitements des eaux usées résidentielles**

Les émissions de CH<sub>4</sub> 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 <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> 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	X (procédé)
Lagunes profondes (> 2m)		Absent en France	Absent en France		
Sans traitement		0	N <sub>2</sub> O (rejet)		

Non collectées	Avec traitement	Fosses septiques	X	N <sub>2</sub> O (rejet)
		Traitement aérobies in situ	0	
		Latrines / toilettes sèches	Négligé	
		Lagunes peu profondes (< 2m)	Absent en France	Absent en France

0 : considéré comme nul (MCF =0)

Graphes\_OMINEA\_5.xls

X : estimé et non nul

Les émissions associées au rejet d'eau usées dans le milieu naturel sont considérées comme nulles. En effet, les conditions climatiques françaises et la réglementation s'appliquant aux rejets dans les milieux naturels assurent que les eaux usées (traitées ou non) ne sont pas rejetées dans des eaux stagnantes ou déjà chargées en matières organiques.

Pour les types de traitement présentant des conditions anaérobies (MCF non nul spécifié dans les lignes Directrices 2006 du GIEC [615]), les émissions sont calculées selon une méthodologie similaire à celle proposée par le GIEC [374]. Les émissions de CH<sub>4</sub> pour chaque type de traitement 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<sub>j</sub> : charge organique en entrée du système j (kg DBO<sub>5</sub>/an)S<sub>j</sub> : charge organique dans les boues extraites (kg DBO<sub>5</sub>/an)B<sub>0</sub> : quantité de CH<sub>4</sub> émise par kg de BODMCF<sub>j</sub> : taux de conversion en CH<sub>4</sub> du système x (conditions anaérobies)R<sub>j</sub> : quantité de CH<sub>4</sub> capté (kg CH<sub>4</sub>/an) sur le système j

Dans cette équation, le facteur d'émission de chacun des types de traitement correspond alors à B<sub>0</sub> x MCF<sub>j</sub>.

La valeur de B<sub>0</sub> par défaut proposée par les Lignes Directrices 2006 du GIEC [615] est appliquée (B<sub>0</sub> = 0,6 kg CH<sub>4</sub> / kg DBO<sub>5</sub> et 0,25 kg CH<sub>4</sub>/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<sub>j</sub> : Charge organique en entrée du procédé j (kg DBO<sub>5</sub>/an)P<sub>j</sub> : Population connectée aux STEU utilisant majoritairement le procédé jBOD : charge organique unitaire (g DBO<sub>5</sub>/hab/jour)

La valeur de BOD par défaut proposée par les Lignes Directrices 2006 du GIEC [615] est appliquée (BOD = 60 g DBO<sub>5</sub>/habitant/jour).

### a.1.1/ Cas des stations collectives urbaines

En France métropolitaine, environ 81,5% de la population a ses eaux usées collectées et traitées en STEU.

La base de données sur les eaux résiduaires urbaines [752] fournit une description du parc de STEU en termes de type de traitement et de capacités associées. Plus d'une vingtaine de types de STEU est identifiée dont la très grosse majorité sont des traitements biologiques aérobies (boues activées à forte - moyenne - faible charge, lits bactériens, biofiltres, etc.) ou physicochimiques.

Dans l'inventaire français, les procédés biologiques aérobies sont considérés comme bien gérés et les procédés physicochimiques ne sont pas considérés comme des sources de CH<sub>4</sub>. Donc, seules les stations de type lagunage naturel présentent les conditions d'anaérobies nécessaires à l'émission de CH<sub>4</sub> (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 correspond 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 parallèle, on observe une hausse constante de la part des capacités des STEU de type filtres plantés et représente 2%. La même méthode de calcul de la charge organique est utilisée.

En France, les stations de type lagunage naturel ont une profondeur de l'ordre de 1 mètre [751]. La valeur par défaut proposée par les Lignes Directrices 2006 du GIEC [615] pour les lagunes peu profondes est appliquée (MCF = 0,2). Le facteur d'émission, correspondant à  $B_0 \times MCF_j$  des stations d'épuration de type lagunage naturel, est donc égal à 0,12 kg CH<sub>4</sub> / kg DBO<sub>5</sub>. Concernant les stations de type filtres plantés, la France se réfère au supplément de 2013 des Lignes directrices 2006 du GIEC : Constructed wetlands for wastewater treatment. Les filtres plantés mis en œuvre en France sont assimilables aux Horizontal Subsurface Flow (VSSF) présentés dans le supplément (MCF = 0,01) [1228]. Le facteur d'émission, correspondant à  $B_0 \times MCF_j$  des stations d'épuration de type lagunage naturel, est donc égal à 0,06 kg CH<sub>4</sub> / kg DBO<sub>5</sub>.

La charge organique des boues extraites n'est pas connue et est considérée comme nulle ( $S_j = 0$ ).

Aucun CH<sub>4</sub> n'est capté au niveau des lagunes ( $R_j = 0$ ).

Concernant les territoires ultramarins, la part de la population connectée à des stations de traitement des eaux usées est sensiblement moins élevée (entre 50% et 70% pour les années récentes en fonction des territoires). De plus, il n'est considéré aucune STEP de type lagunage dans les territoires ultramarins.

### a.1.2/ Cas des eaux usées non raccordées au réseau de collecte

En France, environ 18,5% de la population a ses eaux usées non raccordées au réseau de collecte des STEU. Les eaux usées non raccordées au réseau de collecte sont en très grande majorité traitées par traitement autonomes (17,8% de la population), et une faible part est rejetée dans le milieu naturel sans traitement (0,8% 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 kg CH<sub>4</sub> / kg DBO<sub>5</sub>.

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 ( $S_j = 0$ ).

En ce qui concerne les fosses septiques, les émissions dépendent de la fraction de la population qui gère sa fosse septique conformément aux instructions relatives à l'élimination des boues de sa fosse/système septique (fraction F dans la nouvelle équation 6.3c).

$$S_{septic} = TOW_{septic} \times F \times 0,5$$

Avec :

$S_{septic}$  = composant organique éliminé des eaux usées (sous forme de boues) dans les fosses septiques, kg DBO/an

$TOW_{septic}$  = matières organiques totales dans les eaux usées des fosses septiques, année d'inventaire, kg DBO/an

F = fraction de la population qui gère sa fosse septique conformément à l'instruction d'élimination des boues de sa fosse septique

0.5 = fraction des matières organiques dans les eaux usées éliminées dans les boues lorsque la fosse septique est gérée conformément aux instructions relatives à l'élimination des boues

En France, F est considéré évolutif sur la période temporelle. Entre 1990 et 2010, la valeur par défaut du GIEC est retenue (0,5). Pour les années suivantes, F est estimé sur la base des données INSEE « *Taux de conformité des dispositifs d'assainissement non collectif* » [1283].

Aucun CH<sub>4</sub> 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<sub>4</sub>.

### 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<sub>4</sub> 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 <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
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		
		Traitement secondaire avancé (nitrification/dénitrification)	X (procédé) X (rejet)	
		Lagunes peu profondes (< 2m)	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 aérobie	0	N <sub>2</sub> O (rejet)
		Latrines	Absent en France	Absent en France
		Lagunes peu profondes (< 2m)	X	N <sub>2</sub> O (rejet)

0: considéré comme nul (MCF =0)

Graphes\_OMINEA\_5.xls

X: estimé et non nul

### 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 (les STEU de type lagunage, souvent de faible capacité, ne recevant pas d'eaux industrielles).

Donc aucune émission n'est associée au traitement des eaux industrielles/commerciale 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 traitées dans des systèmes ayant un MCF non nul sont sources d'émissions de CH<sub>4</sub>. 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 plus gros industriels déclarent dans le registre national des émissions polluantes leurs émissions de DCO dans l'eau en sortie d'usine, qu'il s'agisse d'un rejet après traitement in-situ vers le milieu naturel (dit rejet direct) ou d'un rejet vers une STEU (dit rejet indirect) [436]. D'après ces données, les industries présentes en France les plus émettrices en DCO en sortie d'usine sont l'agroalimentaire et l'industrie du "bois, papier, carton" mais l'usage du lagunage naturel n'est pas adapté aux concentrations élevées en DCO. L'industrie du papier n'utilise pratiquement pas le lagunage naturel, car non en accord avec les meilleurs techniques Disponibles (MTD) définies dans les BREFS, et seules certaines industries agro-alimentaires traitant leurs eaux résiduelles peu chargées in-situ sont susceptibles de recourir à cette technique.

La base de données des déclarations des émissions dans l'eau (GEREP) fourni des informations concernant les rejets de DCO en sortie des sites. Afin d'éviter la sous-estimation des émissions associée à une élimination de la DCO entre l'entrée et la sortie des eaux usées dans les stations, un taux de rendement variable de la DCO des stations est

considéré dans l'inventaire. En effet celui est considéré de 80% en 1990, de 85% en 2000 [1244] et de 90% à partir de 2015 [1243]. Pour les années intermédiaires, ce taux de rendement est estimé par interpolation linéaire.

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  $B_0 = 0,25$  kg/kg DCO.

La charge organique des boues extraites n'est pas connue et est considérée comme nulle ( $S_j = 0$ ).

Aucun  $CH_4$  n'est capté au niveau des lagunes ( $R_j = 0$ ).

## b. Traitement des BOUES d'assainissement

Les boues d'assainissement ont plusieurs destinations :

- la méthanisation sur la station d'épuration
- la méthanisation en mélange avec d'autres déchets organiques dans des installations de production de biogaz dédiées
- le compostage en mélange avec d'autres déchets organiques dans des installations de production de compostage dédiées
- le stockage dans les Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND)
- l'incinération dans des incinérateurs de boues
- l'incinération en mélange avec d'autres déchets non dangereux

Seule la méthodologie relative à la méthanisation des boues sur la station d'épuration est présentée ci-après. Les émissions associées à l'ensemble des autres destinations sont prises en compte dans l'inventaire et les méthodologies sont présentées dans les secteurs respectifs.

### b.1/ Cas de la méthanisation des boues issues du traitement des eaux usées traitées en STEU

La Base de Données sur les Eaux Résidentielles Urbaines (BD ERU) publiée par le Ministère de l'Environnement [752] contient pour chacune des STEU des informations sur la quantité de boues produites et leur destination de traitement.

Sur les STEU, seul le traitement des boues par le procédé de digestion anaérobie (ou méthanisation) présente des conditions favorables à la production de biogaz.

Sur la base de 2 études sur l'état des lieux de la filière méthanisation, un taux de production de biogaz de 224 m<sup>3</sup>/tonne de MS traitée jusqu'en 2001 [372] et de 380 m<sup>3</sup>/tonne de MS traitée à partir de 2010 [564] sont retenus. Une teneur de 68% en  $CH_4$  dans le biogaz est prise en compte [372].

Le facteur d'émission utilisé est issu d'une étude de l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA) [1245] concernant les émissions de GES associées au traitement des boues d'épuration. Celui-ci est constant sur toute la série temporelle et s'élève à 8,7 m<sup>3</sup> de  $CH_4$ /tonne de MS (5,8 kg  $CH_4$ /Mg de MS).

b.2/ Cas de la méthanisation des boues issues du traitement des eaux usées traitées in situ

La méthode appliquée est similaire à celles appliquées aux boues méthanisées sur les STEU.

Sur la base de deux études sur l'état des lieux de la filière méthanisation, un taux de production de biogaz de 382 m<sup>3</sup>/tonne de MS traitée [372] dans le cas des stations industrielles in-situ. Une teneur de 68% en CH<sub>4</sub> identique à celle des méthaniseurs de boues de STEU est retenue.

Le facteur d'émission utilisé est issu d'une étude de l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA) [1245] concernant les émissions de GES associées au traitement des boues d'épuration. Celui-ci est constant sur toute la série temporelle et s'élève à 8,7 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/tonne de MS (5,8 kg CH<sub>4</sub>/Mg de MS).

**Emissions de N<sub>2</sub>O**1/ Traitements des eaux usées résidentielles1.1/ Rejet dans le milieu naturel

Les émissions liées au rejet des eaux usées dans le milieu naturel sont calculées de la façon suivante [374] :

$$E_j = N_{effluent_j} \times FE_{N_{2O-N}} \times \frac{44}{28}$$

Avec :

j : type de système de traitement

N<sub>effluent\_j</sub> : Quantité d'azote rejetée dans le milieu naturel par le système j (en kg)

FE<sub>N<sub>2O-N</sub></sub> : Facteur d'émission (0,005 kg N<sub>2O-N</sub>/kg N [616])

La quantité d'azote rejetée par les habitants dans les eaux usées (N<sub>influent</sub>) dépend de leur consommation en protéines [435] & [1246] et de la teneur en azote des protéines. La teneur en azote des protéines recommandée par les lignes directrices du GIEC 2006 [374] (0,16 g N / g protéines) est appliquée.

1.1.1/ Cas des stations collectives

Les stations d'épuration éliminent une grande partie de l'azote sous forme de N<sub>2</sub>. Le rendement d'élimination de l'azote (R) a évolué avec le temps, de 37% en 1990 à 76% depuis 2018 [1243] avec pour conséquence une diminution des émissions liées au rejet des eaux traitées au fil des ans.

$$N_{effluent} = N_{influent} \times (1 - R_{STEU})$$

Avec :

R<sub>STEU</sub> : Taux moyen d'abattement en azote des STEU

N<sub>effluent</sub> : Quantité d'azote rejeté dans le milieu naturel par les STEU

N<sub>influent</sub> : 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 :

$N_{\text{effluent}}$  : Quantité d'azote rejeté dans le milieu naturel par les STEU

$N_{\text{influent}}$  : Quantité d'azote rejeté par la population dans les eaux usées

$N_{\text{sludge}}$  : Quantité d'azote dans les boues extraites

La valeur par défaut proposée pour  $N_{\text{sludge}}$  dans les Lignes Directrices 2006 du GIEC ( $N_{\text{sludge}} = 0$ ) est utilisée.

### 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 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 0,016 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N effluent proposé par le raffinement de 2019 des Lignes Directrices 2006 du GIEC [1284] est appliqué.

## 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 ( $N_{\text{influent}}$ ) est issue des déclarations annuelles des émissions dans l'eau rapportées par les exploitants (rejets dit « indirects ») [436].

### 2.1/ Rejet dans le milieu naturel des eaux industrielles traitées in-situ

Pour les eaux industrielles traitées in-situ les émissions sont calculées sur la base de la charge sortante en azote des sites non raccordés à une STEU (dits « isolés ») et du facteur d'émission du GIEC (0,005 g N-N<sub>2</sub>O/g N) [616].

La quantité d'azote par les industries non raccordée aux STEU ( $N_{\text{effluent}}$ ) est issue des déclarations annuelles des émissions dans l'eau rapportées par les exploitants (rejets dit « directs ») [245, 375, 436].

### 2.2/ 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.

### **Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

Dans cette catégorie, seules les émissions de COVNM des stations d'épuration des raffineries sont estimées.

### **Emissions de COVNM**

Les émissions de COVNM des eaux industrielles sont estimées à partir du facteur d'émission Tier 1 du guide EMEP/EEA de 2023 [1072].

Les quantités d'eaux usées traitées par les industries, les rejets en azote, en DBO<sub>5</sub> et en DCO sont obtenus à partir des déclarations annuelles pour les années 2016, et entre 2019 et 2022. Celles-ci permettent également de distinguer les rejets isolés des rejets raccordés. Les années manquantes sont estimées sur la base d'une évolution annuelle de la production de l'industrie manufacturière en France. Les eaux usées rejetées par les stations d'épuration urbaines ont été déduites pour éviter tout double-compte.

Des émissions de COVNM peuvent également survenir lors des traitements des eaux usées domestiques dans les STEU. Le guide EMEP/EEA 2023 fourni un facteur d'émission de 15 mg COVNM / m<sup>3</sup> d'eaux usées traitées [1072].

Les quantités d'eaux usées traitées sont récupérées des rapports des services publics d'eau et d'assainissement en France publiés par BIPE [1073]. Ces rapports existent depuis 2004 mais des données ont été extraites depuis 2006. Les années manquantes (publication généralement tous les 2 ans) sont estimées avec la moyenne des deux années connues. Les années antérieures à 2006 sont estimées en fonction de l'évolution de la population raccordées au réseau.

A noter que ces eaux usées traitées prennent en compte également une partie des eaux usées industrielles qui sont raccordées à ces STEP.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
09/01/2024	VM	22/02/2024	JV/JPC

## FEUX DE BATIMENTS

Cette section se rapporte aux feux de bâtiments.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	-
CEE-NU / NFR	5.E
SNAPc (extension CITEPA)	09.07.03
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Nombre de feux par type de bâtiment	Valeurs par défaut du guide EMEP/EEA 2023

### Niveau de méthode :

Polluants : Rang 2

### Références utilisées :

- [566] DIRECTION DE LA SECURITE CIVILE - Services d'incendie et de secours, statistiques annuelles
- [739] Jared Downard & al. - Uncontrolled combustion of shredded tires in a landfill Part 1 : characterization of gaseous and particles emissions, 2015
- [1198] EMEP EEA Guidebook 2023 - Chapitre 5E - Tables 3-2 ; 3-3 ; 3-4 ; 3-5
- [1199] INSEE - Les conditions de logement en France - Edition 2017

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

#### Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NIR et à l'IIR) :

Cette catégorie correspond aux émissions lors des feux de bâtiments de tous types (habitations individuelles ou collectives ou bâtiments industriels, commerciaux ou agricoles), qu'ils soient d'origine criminelle ou accidentelle. Les émissions sont estimées en multipliant une activité par un facteur d'émission.

Pour les besoins d'application de la méthodologie EMEP/EEA [1198], l'activité correspond au nombre de feux de bâtiments en distinguant les types de bâtiments suivants :

- feux de maisons individuelles non mitoyennes (MINM)
- feux de maisons individuelles mitoyennes (MIM)

- feux d'immeubles (IM)
- feux de bâtiments industriels (IND)

En France, les données du nombre d'incendie par catégorie de bâtiments sont disponibles annuellement dans statistiques des services d'incendie et de secours (SDIS) [566]. La dernière édition disponible est celle de 2022 et concerne les incendies de 2021. Le périmètre géographique couvert par ce rapport annuel [566] ne comprend que la métropole et les DROM (Guadeloupe, Mayotte, la Réunion, la Martinique et la Guyane) sans prendre en considération les COM. De plus, la provenance des incendies n'est pas renseignée, par conséquent, la totalité des émissions sont allouées à la métropole.

Le périmètre établi par ces statistiques est légèrement différent de celui nécessaire :

- feux d'habitations (HAB)
- feux d'ERP (établissement recevant du public) avec locaux à sommeil (ERP & LS)
- feux d'ERP sans locaux à sommeil (ERP sans LS)
- feux d'entrepôts et locaux industriels (ELI)
- feux de locaux artisanaux (LAR)
- feux de locaux agricoles (LAG)

Les correspondances suivantes sont effectuées entre les deux nomenclatures :

		Catégories EMEP 2023			
		MINM	MIM	IM	IND
Catégories SDIS (France)	HAB	x		x	
	ERP & LS			x	
	ERP sans LS			x	
	ELI				x
	LAR				x
	LAG				x

Concernant les feux d'habitations, une part est attribuée dans la catégorie "feux de maisons individuelles non mitoyennes" (MINM) et l'autre dans celle des "feux d'immeubles" (IM) en fonction des résultats des enquêtes de l'INSEE25 sur les conditions de logement en France [1199]. La part des logement individuels dans le total des habitations a évolué très lentement dans le temps. La catégorie maisons individuelles mitoyennes" (MIM) n'est pas utilisée, tous les feux de maisons individuelles sont affectés à la catégorie maisons individuelles non mitoyenne" (MINM).

**Méthode d'estimation des émissions de GES (NIR) :**

### **Emissions de CO2**

---

25 INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (direction générale du ministère français en charge de l'économie et des finances)

Les émissions ne sont pas estimées.

**Emissions de CH<sub>4</sub>**

Les émissions ne sont pas estimées.

**Emissions de N<sub>2</sub>O**

Les émissions ne sont pas estimées.

**Emissions de Gaz fluorés**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances.

**Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :**

**Emissions de SO<sub>2</sub>**

Les émissions ne sont pas estimées.

**Emissions de NO<sub>x</sub>**

Les émissions ne sont pas estimées.

**Emissions de COVNM**

Les émissions ne sont pas estimées.

**Emissions de CO**

Les émissions ne sont pas estimées.

**Emissions de NH<sub>3</sub>**

Les émissions ne sont pas estimées.

**Emissions de poussières totales en suspension (TSP)**

Le facteur d'émission correspond aux valeurs par défaut proposées dans les lignes directrices EMEP/EEA [1198].

**Emissions de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>**

Le facteur d'émissions de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont les valeurs par défaut proposées dans les lignes directrices EMEP/EEA [1198]. Faute d'information, le facteur d'émissions des PM<sub>1,0</sub> est considéré comme égal à celui des PM<sub>2,5</sub>.

**Emissions de carbone suie / black carbon (BC)**

La part du BC dans les émissions de PM<sub>2,5</sub> est estimé à 45% sur la base d'une étude sur la combustion des pneumatiques [739].

**Métaux lourds (ML)**

Les facteurs d'émissions du Pb, Cd, Hg, As, Cr et Cu correspondent aux valeurs par défaut proposées dans les lignes directrices EMEP/EEA [1198]. Les émissions des autres ML ne sont pas estimées.

**Dioxines et furannes (PCDD-F)**

Le facteur d'émissions correspond à la valeur par défaut proposée dans les lignes directrices EMEP/EEA [1198].

***Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)***

Les émissions ne sont pas estimées.

***Polychlorobiphényles (PCB)***

Les émissions ne sont pas estimées.

***Hexachlorobenzène (HCB)***

Les émissions ne sont pas estimées.

## Sources biotiques

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
21/01/2021	CR	21/01/2021	EM/JPC

## ÉMISSIONS DE COV BIOTIQUES PAR LA VEGETATION / FORETS ET PRAIRIES NATURELLES

Cette section concerne les émissions de COV biotiques des forêts et prairies naturelles. Dans le cadre de la CEE-NU, les émissions des forêts et prairies naturelles sont rapportées hors total national, celles des autres prairies et cultures sont désormais incluses dans les totaux nationaux (cf. *OMINEA\_3D\_agricultural soils*).

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	4G (Forêts gérées)
CEE-NU / NFR	6B (Forêts gérées) et 11C (Forêts et prairies naturelles)
SNAPc (extension CITEPA)	1101, 1102, 1111, 1112, 110401
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Surfaces par type de formation végétale	Facteurs d'émissions nationaux

### Niveau de méthode (EMEP/EEA) :

Rang 3

### Références utilisées :

- [14] CPDP (Comité Professionnel Du Pétrole, valeurs de Météo France)
- [85] SCEES - AGRESTE, Statistique agricole annuelle
- [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
- [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
- [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)

### Caractéristiques de la catégorie (IIR uniquement) :

Les formations végétales présentes dans les forêts, les prairies et les cultures synthétisent naturellement des composés organiques volatiles, au cours de leur croissance, en réponse à des blessures, aux variations de températures, etc. On parle de COV biotique, ou biogénique.

Ces émissions biotiques de COVNM dépendent de multiples paramètres dont le type d'essence végétale, la masse foliaire, la superficie occupée par l'essence végétale, de la température et de la luminosité. Les fonctions d'émission faisant intervenir ces paramètres ne sont pas linéaires et certains de ces paramètres sont fortement variables au cours de l'année (masse foliaire, température, ensoleillement), de la journée (température, ensoleillement), de la localisation (espèce végétale, température, ensoleillement), etc. La méthode de calcul des émissions prend en compte ces différents paramètres.

Les émissions biotiques de COVNM répertoriées actuellement dans l'inventaire différencient les sous-ensembles suivants : Isoprène (ISO), Monoterpènes (MT) et Autres COV (ACOV).

L'intégration de tous ces éléments est réalisée dans le modèle COBRA (Composés Organiques de la Biomasse Rejetés dans l'Atmosphère) [92] développé par le CITEPA. Ce modèle fait appel à diverses données pour caractériser l'activité de cette source [14, 292, 293].

Du fait de la structure de certaines données sources, l'ensemble des émissions de COVNM des forêts est actuellement rapporté dans la catégorie des forêts restant forêts pour la CCNUCC et en mémo item NFR pour la CEE-NU.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

#### **Emissions de COVNM**

Les émissions de COV biotiques sont estimées grâce au modèle COBRA (Composés Organiques de la Biomasse Rejetés dans l'Atmosphère) [92], développé par le Citepa, qui fait appel à diverses données pour caractériser l'activité de cette source [14, 292, 293] et dont les principaux éléments sont présentés ci-après.

Les algorithmes utilisés par le modèle COBRA appliquent l'équation suivante :

$$EM = \varepsilon \cdot D \cdot S \cdot \gamma$$

avec :

- EM : Emissions de COVNM par essence végétale,
- $\varepsilon$  : Taux normalisé d'émission,
- D : Densité de feuillage ou coefficient de biomasse foliaire,
- S : Superficie recouverte par l'essence végétale,
- $\gamma$  : Facteur environnemental correctif (généralement lié à la température et à la luminosité),

Les paramètres sont expliqués ci-dessous de manière succincte. Pour le détail des calculs, se rapporter au rapport spécifique sur le modèle [92].

#### Taux normalisé d'émission ( $\varepsilon$ )

Le modèle comporte six taux normalisés d'émission ( $\varepsilon$ ) pour la forêt. Ils sont classés en quatre catégories :

- les feuillus forts émetteurs d'isoprène,
- les feuillus faiblement émetteurs d'isoprène,
- les feuillus non émetteurs d'isoprène,
- les conifères.

Ils sont exprimés en fonction de la température et de la luminosité. Il est considéré que les essences productrices d'isoprène émettent seulement le jour et que les essences à l'origine d'autres composés chimiques (terpènes et autres) émettent indifféremment le jour et la nuit.

#### Densité de feuillage (D)

La densité de feuillage forestier est déterminée pour cinq essences d'arbres feuillus (le chêne, le platane, le peuplier, le saule, le palmier) et deux familles de végétation (autres feuillus, conifères). A chacune de ces sept familles est attribué le taux normalisé d'émission ( $\varepsilon$ ) adéquat.

#### Surfaces des peuplements (S)

Les surfaces forestières par département des 27 essences retenues pour la réalisation de l'inventaire sont issues de l'IFN [292]. Comme il est fréquent de rencontrer en forêt des essences en mélange, l'essence à prendre en considération pour le décompte des surfaces est celle qui correspond au plus grand couvert libre dans un rayon de 25 m. Une résolution plus fine de l'inventaire forestier est également utilisée afin d'attribuer spécifiquement aux hautes altitudes avec les températures appropriées les surfaces réelles par essence et par département en prenant en compte le nombre de tiges par région forestière. Les résultats de surface par région forestière sont donc déduits du nombre de tiges par région forestière et par département et la surface du département. Les surfaces de cultures et de prairies par département sont issues de l'AGRESTE, statistiques agricoles [85] remises à jour annuellement.

#### Facteur environnemental correctif ( $\gamma$ ) :

Les algorithmes utilisés pour calculer les flux d'émissions sont ceux de Guenther [294] qui tiennent compte de la température foliaire et indirectement du rayonnement.

La température foliaire est assimilée dans le cadre de cet inventaire à la température ambiante. Les données de températures sont issues du réseau de RENECOFOR (REseau National de suivi à des ECOsystèmes FOrestiers) [293] de l'Office National des Forêts. Ce réseau est constitué d'un peu moins de trente stations de mesure de température réparties sur tout le territoire, de 1996 à nos jours. Il est complété à partir des moyennes de températures mensuelles éditées dans le CPDP [14] (valeurs de Météo France) de 1988 à 1995, grâce à une correspondance établie entre des mois de thermicité identique de la période 1996-2001. Ce qui signifie que ce sont des moyennes mensuelles de températures

récentes, sélectionnées selon leur propriété à ressembler aux situations antérieures à 1996, qui ont été utilisées pour les années 1988 à 1996.

Le rayonnement est pris en compte sous la forme du PAR (Photosynthetically Active Radiation), utilisé dans l'équation de Guenther [294] qui correspond à une fraction du rayonnement global (RG) comprise entre 400 et 700 nm. Sa valeur est donc estimée selon  $PAR = 0,45 RG$  (Lambert [295]).

Résultats :

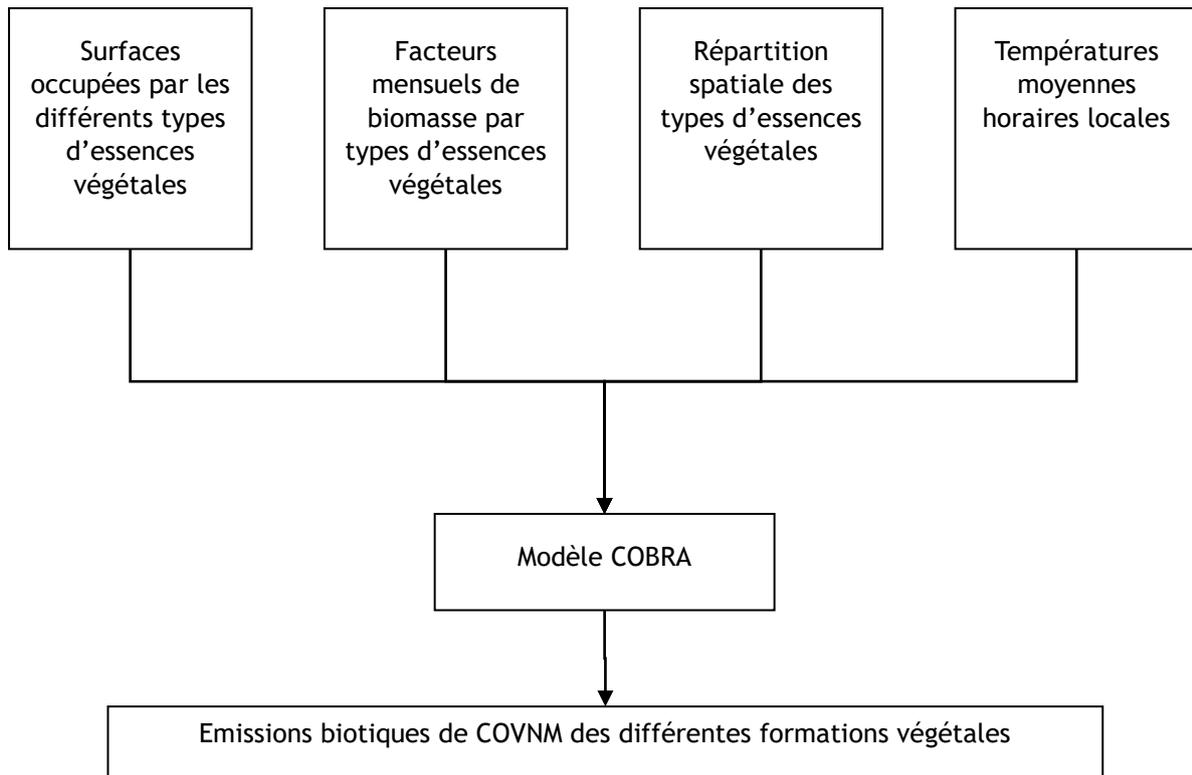
Le calcul des émissions suit donc un processus de type bottom-up spatio-temporel. Un module de calcul développé par le CITEPA permet de déterminer les émissions par catégorie d'essence végétale, par mois, par département et pour les catégories de COVNM : isoprène (ISO), monoterpènes (MT) et autres COV (ACOV) [296].

Le facteur d'émissions moyen sur les forêts françaises de la métropole varie autour de 80 kg/ha. Il varie d'une année à l'autre en fonction des conditions climatiques, ce qui peut engendrer des écarts très significatifs sur des périodes mensuelles et/ou des zones géographiques particulières.

Les émissions biotiques de COVNM représentent une part importante des émissions totales de COVNM. Cependant, ces émissions ne sont pas prises en compte dans les totaux nationaux de certains formats d'inventaire mais interviennent de façon notable dans les processus photochimiques conduisant à la formation de composés tels que l'ozone.

La méconnaissance des valeurs des paramètres pris en compte dans les calculs pour ce qui concerne les forêts tropicales ne permet pas d'appliquer le modèle en dehors de la métropole, notamment en Guyane, territoire où se situe une part importante de la forêt française.

### Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
09/02/2024	CR	19/02/2024	EM/JPC

## VOLCANS

Cette section traite des émissions provoquées au cours des éruptions volcaniques.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	Hors Champ
CEE-NU / NFR	Hors Champ
SNAPc (extension CITEPA)	11.08.00
CE / directive IED	(hors champ)
CE / E-PRTR	(hors champ)
CE / directive GIC	(hors champ)

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Indice d'éruption volcanique. Durée de l'éruption	Valeurs par défaut pour chaque type de volcan

### Niveau de méthode :

Sans objet

### Références utilisées :

[405] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2009, Technical report No 9/2009 - chapter 11.A Volcanoes

[406] <http://www.volcano.si.edu/>

[788] Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP). Observatoires volcanologiques (<http://www.ipgp.fr/fr/ovpf>)

### Caractéristiques de la catégorie :

Les émissions naturelles liées aux activités géothermiques sont très incertaines et difficiles à quantifier. Ces émissions sont liées :

- aux éruptions volcaniques de surface
- aux éruptions volcaniques sous-marines
- aux fumerolles
- aux geysers
- aux phénomènes de dégazage métamorphique.

Le volcanisme est responsable d'émissions de polluants que ce soit pendant les phases d'activité (éruptions notamment) qu'en dehors. Des émissions de différents polluants sont observées.

Les émissions les plus importantes sont issues du magma très chaud. En l'état actuel des connaissances cela concerne le SO<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub> principalement.

Il y a aussi des émissions de particules qui ont pour origine :

- les matières pyroclastiques (tephra),
- la condensation des gaz volcaniques, lors de leur refroidissement,
- la transformation des particules existantes,
- les réactions à basse température.

Il n'est considéré pour l'instant que ces trois polluants et pour la phase éruptive.

### Méthode générale d'estimation des émissions (GES) :

L'activité est caractérisée par un indice d'éruption volcanique actualisé et publié régulièrement [406]. Le détail des durées de chaque épisode d'éruption, en nombre de jours, est fourni plus précisément par l'IPGP [788].

De cet indice et du type de volcan, les émissions de SO<sub>2</sub> sont estimées par éruption. Ces dernières permettent, au moyen d'un ratio SO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> propre à chaque type de volcan, d'estimer les émissions de CO<sub>2</sub> par éruption. Les ratios CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> par défaut d'EMEP 2019 sont utilisés : 1,5 pour les volcans de type « arc » et 4,125 pour les volcans de type « non-arc ».

Des émissions de particules peuvent être estimées à partir d'un flux moyen par éruption [405] et de la durée de l'éruption [406].

Les incertitudes restent extrêmement élevées.

NB : ces émissions de GES des volcans ne sont pas rapportées dans le rapport NIR pour la CCNUCC même en mémoire car les sources naturelles de façon générale ne sont pas rapportées à la CCNUCC même en mémoire hors total national. Par contre ces émissions de GES des volcans sont rapportées dans les sorties Secten en mémoire hors total national.

### Méthode d'estimation des émissions de GES :

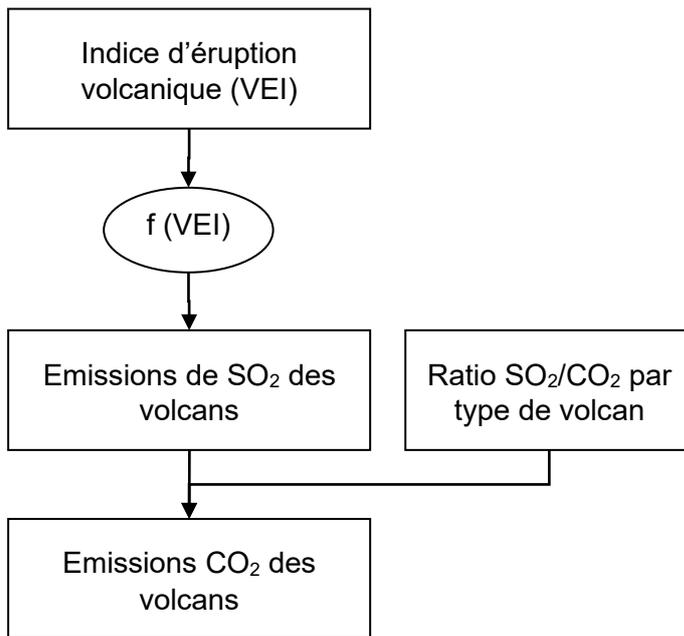
#### **Emissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont déterminées à partir des émissions de SO<sub>2</sub> par éruption et d'un ratio SO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> propre à chaque type de volcan [405]. Pour information, les émissions de SO<sub>2</sub> sont estimées par éruption à partir de l'indice d'éruption volcanique et du type de volcan.

### Méthode d'estimation des émissions de polluants :

En France, les émissions des volcans ont toutes lieu en Outre-mer, en dehors du périmètre du rapportage CEE-NU, qui se limite à la métropole. Aucune émission n'est donc comptabilisée dans cette catégorie NFR.

## Logigramme du processus d'estimation des émissions.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
17/01/2024	VM	19/02/2024	JPC

## FOUDRE

Cette section traite des émissions de NOx provoquées au cours des phénomènes orageux.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRF	Hors champ
CEE-NU / NFR	Hors champ
SNAPc (extension CITEPA)	11.10.00
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Nombre d'impacts de foudre	Valeur nationale par défaut

### Niveau de méthode GIEC :

Sans objet

### Références utilisées :

[299] METEO FRANCE - Données Meteorage (incrémentation permanente)

[912] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 11.C Other natural sources B111000 Lightning 2023

### Caractéristiques de la catégorie (IIR) :

Les éclairs constituent une importante source naturelle d'oxydes d'azote. Bien que cette source produise moins de 20 % de NOx que les sources anthropiques, elle est la plus efficace en ce qui concerne la production d'ozone (O<sub>3</sub>). En effet, contrairement aux sources anthropiques qui produisent les NOx en surface, les éclairs les produisent en altitude où, le temps de vie des NOx est supérieur à celui qu'ils ont en surface et les réactions photochimiques sont favorisées. Ainsi, la production d'ozone est plus importante. Au cours des orages, les décharges électriques que constituent les éclairs provoquent localement des augmentations de température très fortes (jusqu'à 30 000 K) qui induisent une forte ionisation des molécules présentes, notamment celles d'oxygène et d'azote. Ce phénomène conduit à la formation de NO qui reste stable par l'effet de trempe lié à la baisse brutale de la température. Parmi les composés formés dans les décharges de foudre, seules les émissions de NO et le NO<sub>2</sub> (en équivalent NOx) sont rapportées.

Il convient de différencier les éclairs IC (de type nuage-nuage ou intra-nuage) et CG (de type nuage-sol). Les éclairs IC se produisent à des altitudes supérieures à environ 5 km et peuvent être négligés dans certains modèles de couche limite, tandis que les éclairs CG peuvent atteindre le sol depuis environ 7 km d'altitude (au nord de 30° de latitude) ou 10 km d'altitude (au sud de 30° de latitude). Seuls les éclairs de type « nuage-sol », sont

considérés. Les nuages de type « nuage-nuage » ne sont pas pris en compte (il a été rapporté que les rejets IC peuvent être jusqu'à dix fois moins efficaces dans la production de NO<sub>x</sub> que les rejets CG).

#### Méthode générale d'estimation des émissions (IIR) :

L'activité est caractérisée par le nombre d'impacts de foudre et/ou d'arcs de foudre qui est recensé par les services météorologiques [299]. La répartition géographique de ces données est disponible. La valeur de l'année 1989 est appliquée rétrospectivement de manière uniforme à toutes les années antérieures.

Les émissions sont déterminées au moyen d'un facteur d'émission associé à l'activité.

#### Méthode d'estimation des émissions de GES :

Il n'y a pas d'émission de GES attendue.

#### Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

##### **Emissions de NO<sub>x</sub>**

La foudre engendre la formation de NO. Les émissions sont égales au produit du nombre de moles de NO produit par Joule et l'énergie développée par un éclair. Le facteur d'émission est issu du Guidebook EMEP/EEA [912]. Le NO formé est distribué de manière décroissante avec la hauteur en fonction de la densité de l'air. Pour un éclair de 7 km, environ 20 % des émissions se produisent alors dans les 1 000 m les plus bas. Par conséquent, seulement 20% des émissions de NO<sub>x</sub> produites par éclair (produites à moins de 1 000 m) sont considérées dans l'inventaire.

$$CG_{NO} = E \times M$$

où :

$CG_{NO}$  = NO produit par la partie nuage-sol de l'éclair,

$E = 4 \times 10^8$  J par éclair nuage-sol,

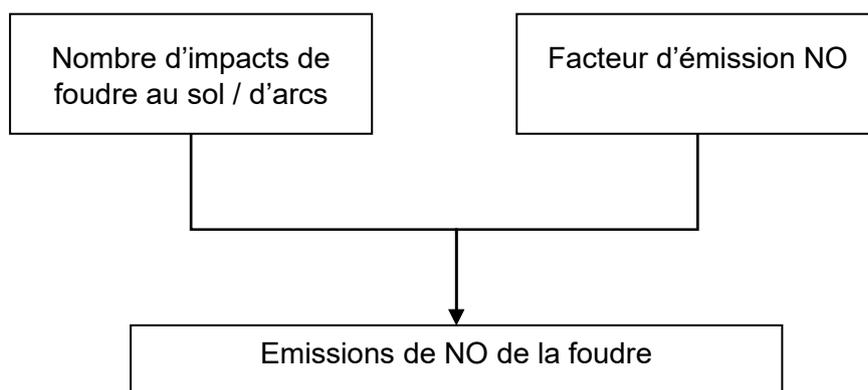
$M = 9 \times 10^{16}$  molécules NO/J.

Calculé en unités de masse, on obtient 2,75 kg de NO<sub>x</sub> (en équivalent NO<sub>2</sub>) par éclair. Environ 20 % de cette quantité est supposée être émise en dessous de 1 km d'altitude pour prise en compte dans l'inventaire.

Emissions des autres polluants

Il n'est pas attendu d'émission pour les autres polluants que le NO<sub>x</sub>.

Logigramme du processus d'estimation des émissions.



## Annexes

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
01/03/2024	AD	01/03/2024	JPC

## REFERENCES

Les repères manquants correspondent à des références devenues obsolètes pour la présente édition.

- [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'Equipement, des Transports et du Logement - DAEI - Le marché des véhicules, immatriculations et parcs au 1er janvier (publication annuelle)
- [56] ARGUS - Numéro annuel spécial statistiques
- [57] FIEV / CSNM - Statistiques sur le motorcycle en France
- [58] INRETS - BOURDEAU B. - Evolution du parc automobile français entre 1970 et 2020 - 1998

- [59] AEE - COPERT III - SAMARAS Z. & all. - Methodology and Emission Factors, 2000
- [60] Ministère chargé des Transports - Rapports annuels de la Commission des Comptes des Transports de la Nation (CCTN)
- [61] Ecole des Mines de Paris - PALANDRE L., BARRAULT S., CLODIC D. - Inventaire et prévisions des fluides frigorigènes et de leurs émissions (mise à jour annuelle)
- [62] CITEPA - SAMBAT S. & all. - Inventaire des émissions de particules primaires - 2001
- [63] MINEFI - DIDEME - Données internes non publiées
- [64] USIRF - Données internes à la profession relatives à la production d'enrobé routier
- [65] ADEME - Le chauffage domestique au bois, approvisionnement et marchés. Mars 2000
- [66] EPA - AP 42 Compilation of air pollutant emission factors, January 1995
- [67] CITEPA - ALLEMAND N. - Estimation des émissions de polluants liées à la combustion du bois en France. Mars 2003
- [68] OFEFP - Mesures pour la réduction des émissions de PM10. Document environnement n° 136, juin 2001
- [69] INSTITUT D'EMISSION D'OUTRE-MER (IEOM) - Rapport annuel
- [70] CITEPA - BOUSCAREN R. - Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et de composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996
- [71] SAMARAS Z. & ZIEROCK K-H. - The estimation of other mobile sources and machinery. May 1994
- [72] PROMOJARDIN - Données professionnelles internes
- [73] GIGREL - Données professionnelles internes
- [74] EMEP MSC EAST - Note technique 6/2000
- [75] AFME - CEMAGREF - Consommation de carburant des tracteurs agricoles - Février 1990
- [76] ARMEF - Les ventes de matériel d'exploitation forestière en France de 1968 à 1992 - Avril 1993
- [77] ARMEF - Etat du parc des machines d'exploitation forestière en région Lorraine, Février 1993
- [78] CITEPA - Carbonisation du bois et pollution atmosphérique - Monographie n° 48, 1986
- [79] TNO - Particulate matter emissions (PM10 - PM2.5 - PM0.1) in Europe in 1990 and 1993 -February 1997
- [81] EPA - Reconciling urban fugitive dust emissions inventory and ambient source contribution estimates : summary of current knowledge and needed research - Desert Research Institute - May 2000
- [82] UBA - Etude sur la répartition granulométrique (< PM10, < PM 2.5) des émissions de poussières - février 1999
- [83] MINEFI - Observatoire de l'Energie - Données communes des bilans de l'énergie communiquées à l'AIE et à EUROSTAT
- [84] CEPII - Harmonisation des statistiques énergétiques nationales pour le calcul des émissions de CO2 de la France - KOUSNETZOFF N. et CHAUVIN S. - Juin 2003
- [85] SCEES - AGRESTE, Statistique agricole annuelle
- [86] SCEES - AGRESTE, Statistique agricole annuelle et production agricole finale, DOM
- [87] ECETOC - Ammonia emissions to air in Western Europe, July 1994
- [88] GIEC - Guidelines 96 - Vol. 2 - section 4
- [89] INRA - VERMOREL, Emissions annuelles de méthane d'origine digestive par les bovins en France, 1995
- [90] UNIFA - Les livraisons de fertilisants minéraux en France - Publication annuelle
- [91] AGENCE DE L'EAU - Données internes fournies annuellement

- [92] CITEPA - PAJOT K., GABORIT G. FONTELLE J-P. - Estimation annuelle des émissions de COVNM des sources biotiques dans la basse atmosphère en France (modèle COBRA) - Mai 2003
- [93] EPA - National Technical Information Service - Gap filling PM10 emission factors for selected open area dust sources, February 1988
- [94] SAMARAS Z., ZIEROCK K.H. - Guidebook on the Estimation on the Emissions of Other Mobile Sources and Machineries - Université de Thessalonique, 1994
- [96] INSEE - Statistiques démographiques annuelles (www.insee.fr)
- [103] AEAT - source apportionment of 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] FIGG / 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 Modells 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 CH<sub>4</sub>, 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](http://www.promethee.com)
- [298] Ministère de l'Agriculture (MAP), Dossier de presse « Prévention des incendies de forêt », [www.agriculture.gouv.fr](http://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](http://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 adjuvés, 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] KEPLER 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](http://www.taaf.fr), 2009
- [390] JOST C. - [www.clipperton.fr](http://www.clipperton.fr)

- [391] GIEC - Guidelines 2006, Chapter 2, Pages 2.17 and 2.18, Table 2.3 stationary combustion in manufacturing industries and construction
- [392] OFEFP - Coefficients d'émission des sources stationnaires, édition 2000, page 145
- [393] EMEP / CORINAIR Guidebook, Edition septembre 1999, page B4611-6
- [395] EPA - AP42. Janvier 1995, page 11.16-8, table 11.16-4
- [396] CONCAWE - Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries, 2009
- [397] GIEC - Guidelines 2006, Chapter 2, Pages 2.15 and 2.16, Table 2.2 stationary combustion in the energy industries
- [398] EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook, Partie 1A2, table 3-24, May 2009
- [399] ATILH - données internes communiquées le 28 octobre 2005 relatives à l'estimation du facteur d'émission de NH3 dans les cimenteries
- [400] I.E.O.M. Institut d'Emission d'Outre Mer, rapport annuel
- [401] I.E.D.O.M. Institut d'Emission des Départements d'Outre-mer, rapport annuel
- [402] Observatoire Energie Réunion - Bilan énergétique île de Mayotte, année 2008, édition 2009
- [403] DIMENC - Bilan de l'énergie de Nouvelle-Calédonie 2007 à 2009 + coefficients de conversion
- [404] Elf Aquitaine - Communications personnelles chaque année
- [405] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2009, Technical report No 9/2009 - chapter 11.A Volcanoes
- [406] <http://www.volcano.si.edu/>
- [407] OFEFP - Coefficients d'émission des sources stationnaires, édition 2000, page 90
- [409] EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook, Part 1A2, table 3-26, May 2009
- [410] SSP - AGRESTE. Données téléchargeables sur : <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/page-d-accueil/article/donnees-en-ligne>.
- [412] ADEME - Communication de M. Erwan AUTRET du 20 octobre 2009
- [413] IPCC - Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories - Background Papers - Annex 1 - Table 2 - CH4 default emission factors, 2000
- [414] EMEP/EEA - Emission Inventory Guidebook, Part B111(S1)-6, December 2006
- [415] SOeS - L'activité pétrochimique en France, Données 2005-2008, Chiffres & statistiques, Publication annuelle
- [416] GIEC - Guidelines for national greenhouse gases inventories », 2006, Vol. 3, chap. 7
- [417] FEDEM - Communication de données annuelles relatives à la consommation de plomb
- [418] E. TRUFFAUT - La fabrication du ferro-manganèse aux hauts-fourneaux en France, Soleils d'Acier, 2004
- [419] EMEP / EEA Guidebook - Chapter B111, page 55, 2006
- [420] ADEME - Les installations de traitement des ordures ménagères, résultats 2008
- [421] CEREN - Bilan national du bois de chauffage à partir des enquêtes Logement de l'INSEE, pluriannuelle
- [422] Observ'ER : Synthèse annuelle du marché (anciennement SER - Brochure annuelle : le chauffage au bois domestique)
- [423] Directive européenne 2002/88/CE relative aux moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers
- [424] INRA INFOSOL - Données issues du réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS), 2009

- [425] GALY LACAUX C. - Modification des échanges de constituants mineurs liés à la création d'une retenue hydroélectrique : Impact des barrages sur le bilan de méthane dans l'atmosphère, 1996
- [426] ADEME/MEDDTL/DGPR - Performances de captage de biogaz de décharges, 2010[367] ADEME - Outil de calcul des émissions dans l'air de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> et NO<sub>x</sub> issues des centres de stockage de déchets ménagers et assimilés, mars 2003
- [428] SOLAGRO - Note méthodologique : « Note d'estimation des gaz CH<sub>4</sub> - CO<sub>2</sub> - SO<sub>x</sub> - NO<sub>x</sub> 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<sub>x</sub> - p 43 à 49
- [447] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2009 - secteur 1A1b - SNAP 010305 - FE NO<sub>x</sub> - p 50 et 51
- [448] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2009 - secteur 1A1a - SNAP 010304 assimilée à SNAP 010104 et 010105 - FE NO<sub>x</sub> - p 33 et 34
- [449] CONCAWE - Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries - 2009 edition, p 83
- [450] GIEC - Guide sur les Bonnes Pratiques, 2003, chapitre 2 « Energie », tableau 2.16, page 2.86, « Pétrole conventionnel »
- [451] EMEP EEA Emission Inventory Guidebook - May 2009, Section 1A4, table 3-28
- [452] INSEE - Publication annuelle - Les consommations d'énergie dans l'industrie
- [453] NERI - Heavy metal emissions for Danish road transport, technical report n° 780, 2010
- [454] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook -- Technical report N° 9/2009- 1.A.3.b Road transport (update June 2010)
- [456] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - Technical report N° 9/2009- 1.A.3.b.vi Road tyre and brake wear
- [457] Fédération des industries du verre - Rapport d'activité annuel
- [458] CITEPA - Etude comparative des rejets atmosphériques des principales énergies de chauffage - Avril 2003
- [459] EMEP / EEA Guidebook - édition 2019 - 1A4 Small combustion - FE pour le 1A4b residential (Tables 3-15, 3-16, 3-18)
- [460] Default emission factor Handbook 2nd edition - Janvier 1992 - Commission of european community

- [462] EMEP / CORINAIR Guidebook - Février 1996 - Section « Small consumers »
- [463] EMEP EEA Guidebook - Mai 2009 - Secteur 1A1 - Table 3-7 "Heavy fuel oil"
- [464] EMEP / CORINAIR Guidebook - Mai 2009 - 2A6 - Table 3-1
- [465] INSEE - Statistiques ProdFRA de 2008 à année N-1 - production de panneaux de particules (codes 1621131310 ; 1621122420 ; 1621135000 ; 1621131320)
- [466] Arrêté du 3 octobre 2010 relatif au stockage en réservoirs aériens manufacturés de liquides inflammables exploités dans un stockage soumis à autorisation au titre de la rubrique 1432 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement
- [467] Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction (CTMNC) - Données internes relatives à la composition des matériaux, 2011
- [468] CORPEN - Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux vaches laitières et à leur système fourrager. Influence de l'alimentation et du niveau de 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. Sauvart - Lactation Response and Nitrogen, Calcium, and Phosphorus Utilization of Dairy Goats Differing by the Genotype for  $\alpha$ 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'Élevage suite à une extraction des données des PMPOA 1 et 2. Communication du 31/01/2011
- [479] IFIP - Le porc par les chiffres 2009
- [480] Résultats des Enquêtes Bâtiment 1994, 2001 et 2008. Service de la statistique et de la prospective, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement de Territoire
- [481] EMEP/EEA Guidebook - 4B Animal husbandry and Manure Management, 2009
- [482] B. Meda, P. Robin, C. Aubert, C. Rigolot, J.-Y. Dourmad and M. Hassouna, - MOLDAVI: A dynamic model simulating nutrient and energy flows from broiler rearing systems. A paraître dans Animal Sciences
- [483] EMEP/EEA 2006. Manure Management regarding organic compounds. Group 10
- [484] IIASA, Klimont Z, Cofala J, Bertok I, Amann M, Heyes C, Gyarfas F. - Modelling particulate emissions in Europe, A framework to estimate reduction potential and control costs. Interim report IR-02-076. December 2002, table 3.74
- [485] MAAF / SSP - Résultats des Enquêtes Pratiques 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\\_dlucubeargus/chiffres\\_globaux\\_elevage.pdf](http://www.haras-nationaux.fr/uploads/tx_dlucubeargus/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 Résiduelles 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-premiere-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 2023 - 5.C.1.b.v Cremation (p9 - table 3-1)
- [566] DIRECTION DE LA SECURITE CIVILE - Services d'incendie et de secours, statistiques annuelles
- [567] ADEME - Amélioration de la connaissance des émissions atmosphériques liées aux brûlages de véhicules - contribution de cette source à l'inventaire national d'émissions, 2013
- [568] EMEP / EEA - Emission Inventory Guidebook 2013 - 5.E Other Waste, Tier 2 Emissions factors, car fires (p.6)
- [569] EMEP/EEA 2013 - 6.C Industrial waste incineration including hazardous waste and sewage sludge (page 11, table 3-2)
- [570] EMEP / EEA 2013 - 6.C Industrial waste incineration including hazardous waste and sewage sludge (page 10, table 3-1)
- [571] EMEP / EEA 2023 - 5.C Clinical waste incineration (page 8, table 3-1)
- [573] Tinus et al. - Atmospheric Environment 61, 2012, 641-651
- [574] EMEP / EEA 2013 - 1A4 Non-road mobile source & machinery, Table 3-1 (Tier 1)
- [575] EMEP / EEA 2013 - 1A4 Small combustion, Table 3-13
- [576] EPA - AP 42 Compilation of air pollutant emission factors, version en vigueur en Août 2013
- [577] California Air resources Board - CATEF (California Air Toxics Emission Factor) - Base de données (<http://www.arb.ca.gov/ei/catef/catef.htm>), Facteurs d'émission pour les HAP
- [578] Brasseurs de France - Statistiques de vente 2006-2010 ([www.brasseurs-de-france.com](http://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 (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) 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](http://www.insee.fr))
- [611] IEDOM/IEOM ([www.iedom.fr](http://www.iedom.fr) / [www.ieom.fr](http://www.ieom.fr))
- [612] Commission européenne - Annexe 1 aux lignes directrices DAU (TAXUD/1619/08 rev.3.4): Liste des pays de l'Union européenne, novembre 2013

- [613] GIEC - Lignes directrices 2006 pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre - Volume 3 Procédés industriels et utilisation des produits - Chapitre 2 - section 2.2
- [614] Lignes directrices du GIEC - Version 2006 - Chapitre 2 : émissions dans l'industrie minérale - tableau 2.4
- [615] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 5, Chapitre 6, Tables 6.2, 6.3, 6.4
- [616] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 5, Chapitre 6, Wastewater treatment and discharge, 6.3.1.2 choice of emission factors
- [617] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 5, chapitre 2, table 2.4
- [618] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 2, chapitre 2.1
- [619] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 5, chapitre 5, table 5.3
- [620] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 5, table 5.6
- [621] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 5, Chapitre 5, table 5.2
- [622] INSEE - Indice de la production industrielle - Produit détaillé dans les industries manufacturières
- [623] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 2, Table 2.3 (combustion stationnaire)
- [624] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 3, Combustion mobile, Table 3.3.1 et 3.2.2
- [625] EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook - Table 3-24 cement production - 1A2, Edition 2013
- [626] EMEP/EEA Emission inventory guidebook - Edition 2013 - Chapitre 1.B.1.b Fugitive emissions from solid fuels ; solid fuel transformation, Section 3.2.2, table 3-1 Tier 1 emission factors
- [627] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 4, Fugitive emissions, Table 4.2.4, p4.50
- [628] EMEP / EEA 2013 - Section 1.B.2.a.v Distribution of oil products, p.17
- [629] Transport Infrastructure Gaz France (TIGF) - Données internes, avril - octobre 2014
- [630] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - Technical report N° 12/2013- 1.A.3.b.v Gasoline evaporation
- [631] OREC (Observatoire Régional de l'Energie et du Climat) créé en 2013 - Bilan énergétique de la Guadeloupe, publication annuelle
- [632] OREDD (Observatoire Régional de l'Energie et du Développement Durable) créé en 2008 - Bilan énergétique de la Guyane, publication annuelle
- [633] OMEGA (Observatoire Martiniquais de l'Energie et des Gaz à effet de serre) créé en 2013 - Bilan énergétique de la Martinique, publication annuelle
- [634] COGO Base Carbone du 19 septembre 2012 - PCI anhydre moyen du bois
- [635] IPCC - 2006 Guidelines for National Greenhouse gas Inventories - Volume 2 - chapitre 1 - table 1.2
- [637] EMEP/EEA Guidebook - edition 2019 - 1A1 Energy industries - Appendix C sulphur content in fuels - contenu en soufre du gaz de haut fourneau (blast furnace)
- [638] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - section I.8 - table 1- 4 (CO2) ; Volume 2 - tables 2.2, 2.3, 2.4 et 2.5 (CH4 et N2O)
- [639] Données internes Gaz de France basées sur des mesures
- [641] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 3 - Industrial Processes and product Use - Chapter 1: Introduction
- [642] EMEP/EEA guidebook, 1A3b road transport, version 2013 updated 09/2014
- [643] Commission Européenne - BREF Incinération des déchets p406 et 412 - Août 2006
- [644] Direction générale des douanes - importation et exportation d'urée - Donnée annuelle <https://lekiosque.finances.gouv.fr>
- [645] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - Chapitre 3 Combustion sources mobiles, Table 3.3.1

- [646] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - Chapitre 2 Combustion sources fixes, Table 2.5
- [647] EMEP EEA Guidebook - mai 2009 - Secteur 1A4, table 3.22
- [648] F2 Chemicals - Communication de données internes annuelles
- [649] ADEME - Déclaration des flux de SF6 dans le secteur des équipements électriques
- [650] Oko-Recherch - « SF6 Bestand und Emissionen aus Teilchenbeschleunigern », 2012
- [651] INRA - communication de données internes, 2014
- [652] IRSN - communication de données internes, 2014
- [653] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 3, Chapitre 5, section 5.2.2.2
- [654] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 3, Chapitre 5, section 5.3.2.2
- [655] Aubert et Coutelet, 2013, Les rejets d'azote et de phosphore par les élevages de lapins : évolution et perspectives. TeMA n°28 - octobre/novembre/décembre 2013
- [656] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 4, Chapitre 10
- [657] CIV, 2012. Alimentation des bovins : rations moyennes et autonomie alimentaire
- [658] INRA, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins - Besoins des animaux - Valeurs des aliments - Tables INRA 2007
- [660] MeteoFrance, [www.meteofrance.com](http://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-unique>
- [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 avions - 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://eusoils.jrc.ec.europa.eu/projects/RenewableEnergy/>
- [723] base de données sur les incendies de forêt (BDIFF). [bdiff.ifn.fr](http://bdiff.ifn.fr)
- [724] "SDIS974, Dispositif de lutte contre les feux de forêts à La Réunion Saison 2015. Présentation du dispositif de lutte contre les feux de forêts. Mercredi 7 octobre 2014  
[http://www.sdis974.re/fileadmin/user\\_upload/les\\_rencontres\\_de\\_la\\_securite\\_\\_2015/2015\\_DISPOSITIF\\_FEUX\\_DE\\_FORET\\_dossier\\_de\\_presse.pdf](http://www.sdis974.re/fileadmin/user_upload/les_rencontres_de_la_securite__2015/2015_DISPOSITIF_FEUX_DE_FORET_dossier_de_presse.pdf)"
- [725] "Feux de végétation - d'après l'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](http://www.mayotte.pref.gouv.fr/content/download/4924/41778/file/OFDM-PFBDM%20Mayotte_versionFinale.pdf)"
- [727] Eurobitume - European bitumen consumption statistics. Publication annuelle depuis 2008
- [728] ToiturePro - Bardeaux d'asphalte, Description du produit - <https://www.toiturepro.com/revetement/bardeau-d-asphalte>
- [729] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Part B, 2.D.3.c Asphalt roofing
- [730] R. Sonan Occho. CCCFA. adblue® pour véhicules légers diesel (véhicules particuliers, véhicules utilitaires légers). Réunion UIP/CCFA - Octobre 2014
- [731] GIEC, IPCC Waste Tool (modèle de cinétique de dégradation d'ordre 1 des déchets)
- [732] GIEC - Guidelines 2006, Volume 5, Chapitre 2, Table 2.4
- [733] Rhodia - Communication de données confidentielles. Octobre 2002
- [734] SESSI/INSEE - Enquêtes (2006, 2008, 2012) sur la production des déchets dans l'industrie
- [735] EMEP/EEA 2013 - 5A Biological treatment - Solid waste disposal on land
- [736] ADEME - Programmme de recherche de l'ADEME sur les émissions 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 2023 - 5.C.2 Open burning of waste / Table 3-1 : Tier 1 Emissions factors for small scale burning
- [742] Pechiney - Vérification des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre de l'Engagement Volontaire AERES -Périmètre France Années 2001, 2002 et 2003. Octobre 2004
- [743] GIEC - Lignes Directrices 2006, Volume 5, chapitre 5, paragraphe 5.2.1.1, equation 5.2
- [744] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Part B section 2C Aluminium production
- [745] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Part B section 2D3b Road paving with asphalt
- [746] IIASA - Interim report: Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous particles in Europe and the Potential for their Control - Kaarle Kupiainen, Zbigniew Klimont, 2004
- [747] EMEP / EEA Mai 2009 - Secteur 1A4, Table 3-9 « Other liquid fuels »
- [748] UNEP - Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases. Edition 2.1 - Décembre 2005 - UNEP Chemicals - Table 35, 37, 48, 50
- [749] INSEE - Statistiques ProdFRA
- [750] MEDDE - Publication "Vers l'interdiction du perchloréthylène en France" - Aout 2013
- [751] CEMAGREF -Le lagunage naturel, leçons tirées de 15 ans de pratiques en France (96/0219), 1997
- [752] Ministère de l'environnement - Base de Données sur les Eaux 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 COVMN 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/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 NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions. Part I: animal excretion and enteric CH<sub>4</sub>, 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/#\\_](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/#\\_](https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/donnees-locales-denergie/#_)
- [910] Réseau RASTA (Réseau d'Aides Scientifiques et Techniques des Accélérateurs) - <http://rasta.free-hosting.fr/partenaires>

- [912] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 11.C Other natural sources B111000 Lightning 2023
- [913] INSEE - Code officiel géographique au 1er janvier 2017 - <https://www.insee.fr/fr/information/2666684#titre-bloc-23>
- [914] JO (UE) - RÈGLEMENT (UE) 2016/2066 DE LA COMMISSION du 21 novembre 2016 - <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016R2066&from=FR>
- [915] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.A.3.c Railways
- [916] INSEE - Statistiques ProdFRA de 2008 à année N-1 - production d'éthanol (codes 2014740000-Alcool éthylique non dénaturé, >= 80 % en volume, non rectifié et 2014750000-Alcool éthylique et eaux de vie dénaturés, de tous titres)
- [917] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 2H2 Food and Beverages industry, table 3-7 FE COVNM de la fermentation
- [918] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 1999 - Group04 Production process, page B4510-4, table 8.1
- [919] EMEP EEA Guidebook version 2013 - 2B Chemical Industry, tables 3-41 et 3-42 (FE poussières)
- [920] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 2A1 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1
- [922] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 2A3 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1
- [923] Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G. (2014). 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland.
- [924] COPACEL - Statistiques annuelles sur la production de pâte à papier
- [925] Guidebook EMEP 2016- Chapter 2H1 Pulp and paper industry - Tier 2 (table 3.2, 3.3 et 3.4)
- [926] BREF "pulp and paper production" - Best available techniques (BAT) - Reference document for the production of pulp, paper and board - 2015
- [927] Décision du 26/09/2014 établissant les conclusions sur les MTD pour la production de pâte à papier, de papier et de carton
- [928] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 2A5c - storage, handling and transport of mineral products
- [929] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 2A2 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1
- [930] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 2.C.7.a Copper production - Section 3.3.2 Technology-specific emission factors - Table 3-2 and 3-3
- [931] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.B.2.c Venting and flaring, table 3-1
- [932] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.A.1 Energy industries, tables 4-5 et 4-6, FE TSP pour le gaz naturel et le FOD
- [933] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.A.1 Energy industries, tables 4-8, FE BC pour les moteurs au FOD
- [934] Concawe - report 9/16 Emission factors for metals from combustion of refinery fuel gas and residual fuel oil - Table 1 pour le gaz de raffinerie
- [935] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1A4 Non-road mobile sources and machinery, table 3-1 (Tier 1)
- [936] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.1 Energy industries, tables 3-2 / 3-4 / 3-5 / 3-6 / 3-7 / 3-11 / 3-19, FE TSP et BC

- [937] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 1.A.2 Combustion in manufacturing industries and construction - Table 3-13
- [938] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1A4 Non-road mobile sources and machinery, Appendix E, Fraction black carbon pour EMNR diesel (moyenne entre <130kW et >130kW selon les normes)
- [939] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.1 Energy industries, tables 3-2 / 3-3 / 3-4 / 3-5 / 3-6, FE TSP, CO et COVNM
- [940] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.4 Small combustion, tables 3-23 / 3-24 / 3-25 / 3-27 / 3-29 / 3-30 / 3-31 pour FE NOx, TSP, CO et COVNM et tables 3-3 / 3-6 / 3-10 pour FE NH3
- [941] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, section 2.D.3.i, 2.G Other solvent and product use, table 3-5
- [942] INSEE - Données statistiques sur les productions de produits inorganiques (ProdFRA de l'année 2009 à n-1)
- [943] FAO - site internet FAOSTAT - Statistiques sur la production d'engrais phosphatés
- [944] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 1.A.2 Combustion in manufacturing industries and construction - Table 3-17
- [945] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 2.B Chemical industry, table 3.7
- [946] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 2.B Chemical industry, table 3.30
- [947] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Section 2.C.7.b Nickel production - Table 3.1
- [948] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Section 2.B.10.a other chemical industry - Table 3.35
- [949] République Française - Circulaire du 14 avril 1962 relative à l'évacuation et au traitement des ordures ménagères
- [950] 2006 IPCC Guidelines, Volume 3 chapter 4 table 4.7 (pp 4.39)
- [951] Best Available Techniques (BAT) Reference (BREF) Document for Iron and Steel Production - 2013
- [952] Norme NF EN 1964-2 - Détermination des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans les industries 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](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 – 2016/2019/2023 Part B 2.D.3i-2G Other solvent and product use, Tobacco combustion
- [1016] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2016/2019/2023 Part B 2.D.3i-2G Other solvent and product use, Other, Use of Fireworks
- [1017] Differences in cadmium transfer from tobacco to cigarette smoke, compared to arsenic or lead, J.-J. Piadéa, G. Jaccardb,\*, C. Dolkaa, M. Belushkina, S. Wajrockb, 2015, table 4
- [1018] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2009 Part B 2.D.3i-2G Other solvent and product use, Tobacco combustion
- [1019] Traitement des résultats de campagnes de mesures réalisées en 2018 ou 2019 par les crématoriums dans le but de vérifier leur conformité avec l'arrêté du 28 janvier 2010 et transmis aux Agence Régionales de Santé (ARS)
- [1020] Ministère de l'Europe et des affaires étrangères - Représentation permanente de la France auprès de l'Union européenne (<https://ue.delegfrance.org/outre-mer-2038>)
- [1021] Inventec - communication téléphonique du 02/10/2019
- [1022] Circulaire du 9 mars 2012 relative à la taxe générale sur les activités polluantes & ses annexes
- [1023] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 2.B Chemical Industry 2016 - Table 3.6
- [1024] Agreste (2015), L'utilisation du territoire en 2014 - Teruti-Lucas; Chiffres & Données 229.
- [1025] Ballet B. (2018). Rénovation de l'enquête Teruti. 13e Journées de méthodologie statistique de l'Insee (JMS). 12-14 juin 2018.
- [1026] Amorich S., Mary A.n, Michel P., Mirouse B. L'enquête Teruti-Lucas. Présentation, 2012.
- [1027] Jean-Christophe Hervé. "National Forest Inventories - Assessment of wood availability and use". In : sous la dir. de Claude Vidal et al. Springer, 2016. Chap. France, p. 385-404.
- [1028] Jean-Christophe Hervé et al. "L'inventaire des ressources forestières en France: un nouveau regard sur de nouvelles forêts". In : Revue Forestière Française LXVI.3 (2014), p. 247-260. doi : 10.4267/2042/56055
- [1029] Règlement (UE) 2016/1628 du Parlement Européen et du Conseil du 14 septembre 2016 relatif aux exigences concernant les limites d'émission pour les gaz polluants et les particules polluantes et la réception par type pour les moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers, modifiant les règlements (UE) n° 1024/2012 et (UE) n° 167/2013 et modifiant et abrogeant la directive 97/68/CE
- [1030] EVOLIS (regroupement de CISMA et PROFLUID) - Données internes de la profession d'équipementiers de BTP, fluidiques et de manutention
- [1031] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1A4 Non-road mobile sources and machinery, Table 3-11 deterioration factors for diesel machinery relative to average engine lifetime
- [1032] Directive 2005/69/EC of the European Parliament and the Council of 16 November 2005 amending for the 27th time Council Directive 76/769/EEC on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to restrictions on the marketing and use of

- certain dangerous substances and preparations (polycyclic aromatic hydrocarbons in extender oils and tyres). <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:323:0051:0054:EN:PDF>
- [1033] EMEP / EEA Guidebook - édition 2016 - 1A4 Small combustion - FE Tier 2 pour le 1A4c agriculture/forestry (Tables 3-23 à 2-26)
- [1034] EMEP / EEA Guidebook - édition 2016 - 1A4 Small combustion - FE Tier 1 pour NH3 pour biomasse (Table 3-10)
- [1035] EMEP / EEA Guidebook - édition 2016 - mise à jour du guide 2018 - 3Df- Agriculture Other including use of pesticides FE Tier 1 pour HCB (Table 3)
- [1036] Données des ventes de produits phytopharmaceutiques issues de la BNV-D, [https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/ventes-de-pesticides-par-departement/#\\_donnees\\_consultees](https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/ventes-de-pesticides-par-departement/#_donnees_consultees) le 19/06/2019
- [1037] INSEE. Tableaux économiques régionaux - Plusieurs années
- [1038] MAA/SSP. Les comptes régionaux, départementaux et par catégorie d'exploitations de l'agriculture - Plusieurs années
- [1039] DAVAR. Recensement général agricole (RGA) Nouvelle Calédonie - 2002 ; 2012
- [1040] Institut de la Statistique et des études économiques Nouvelle Calédonie. Productions agricoles en Nouvelle Calédonie - Plusieurs années.
- [1041] Institut de la statistique de Polynésie française. Recensement général agricole (RGA) Polynésie française - 1995
- [1042] Direction de l'Agriculture (DAG) Polynésie française. Recensement général agricole (RGA) Polynésie française - 2012
- [1043] Service territorial de la Statistique et des Etudes Economiques (STSEE) Wallis et Futuna. Recensement général agricole (RGA) Wallis et Futuna - 2001 ; 2014.
- [1044] DAAF Mayotte. Le poulet de chair à Mayotte - Analyse de la filière. Mars 2016.
- [1045] DAAF Mayotte. Conjoncture et évolution des prix des produits agricoles. Février 2017.
- [1046] DAAF Mayotte. Etudes d'Informations Statistiques agricoles menées en 2016. Janvier 2017.
- [1047] INSEE - Structures agricoles. 1998
- [1048] Agreste - Production commercialisée de sciages et autres produits bois (1990-2018)
- [1049] Aktualisierung und methodische Verbesserung der österreichischen Luftschadstoffinventur für Schwebstaub (traduction : "Mise à jour et amélioration méthodologique de l'inventaire de polluants atmosphériques autrichiens pour les particules"), pp43, 2007
- [1050] Base de données FAO, Production de Pâte de bois chimique, au bisulfite, blanchie (Code Produit : 5510 et 1655)
- [1051] Sauvant D. (INRA). La production de méthane dans la biosphère : le rôle des animaux d'élevage. Le courrier de la Cellule Environnement n° 18 (décembre 1992)
- [1052] IDELE. Résultats du Contrôle Laitier France (bovins, ovins, caprins). Plusieurs années.
- [1053] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 3, Chapitre 3, Tableau 3-24, pp3.99
- [1054] ESA CCI-LC Climate Change Initiative land cover version 2.0.7
- [1055] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 2.B Chemical Industry 2023 - Table 3.6
- [1056] EMEP / EEA emission inventory guidebook, 2019, 3F Field burning of agricultural residues
- [1057] Club Biogaz, Association Technique Energie Environnement - Présentation sur le devenir des digestats, 2019
- [1058] Association AILE, Etat des lieux de la méthanisation en Bretagne et Pays de la Loire au 1er janvier 2020

- [1059] JRC - Map to limit area for leaching - Revue ESD 2019
- [1060] EMEP 2019, Chapitre 3D - Crop production and agricultural soils
- [1061] Enquête annuelle de production dans l'industrie PRODFRA : production de charbon de bois (y compris charbon de coques ou de noix), même aggloméré
- [1062] Données fournies par l'UNGDA - Union Nationale des Groupements de Distillateurs d'Alcool
- [1063] Guidebook Corinair, part 6 - second edition - 1992, page 6
- [1064] EMEP 2019, section 2A1 Cement production - table 3.1
- [1065] EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook - table 3-24 - cement production - 1A2, Edition 2019
- [1066] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 2A3 Glass Production, tables 3.2 à 3.7
- [1067] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 2A2 Lime Production, table 3.1
- [1068] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - Chapter 2A2 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1
- [1069] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - Chapter 2A3 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1
- [1070] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - Chapter 2A5c - storage, handling and transport of mineral products
- [1071] EMEP/EEA/2016 - Chapter 5.A Biological treatment of waste - Table 3-1
- [1072] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, Chapter 5-D , Table 3-1
- [1073] BIPE - Les services publics d'eau et d'assainissement en France - Editions depuis 2006
- [1074] PRODCOM - Statistiques sur la production de produits manufacturés - eurostat (codes produit : 20147400 et 20147500)
- [1075] GRTgaz - Communication annuelle des émissions nationales de CH4 au CITEPA
- [1076] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 2.B Chemical industry, table 3.7
- [1077] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1a4 Non-road mobile sources and machinery - Table 3.6, EF Tier 3
- [1078] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2C5 Lead production
- [1079] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2C3 Aluminium production
- [1080] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2C6 Zinc production
- [1081] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 1A2 Manufacturing industries
- [1082] Commissariat général au développement durable - Production et traitement des déchets en France
- [1083] INERIS - Emissions de Bibenzodioxines et dibenzofuranes lors de la combustion de cables 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](http://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](http://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 2003 relative aux bateaux de plaisance et aux véhicules nautiques à moteur.
- [1149] EU Fleet Register : [https://webgate.ec.europa.eu/fleet-europa/index\\_en](https://webgate.ec.europa.eu/fleet-europa/index_en)
- [1150] STECF (Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries): <https://stecf.jrc.ec.europa.eu/index.html>
- [1151] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), statistics Division, <http://www.fao.org/faostat/fr/#home>
- [1152] Annuaire du Syndicat National des Patinoires, <https://www.syndicatdespatinoires.com/annuaire/>
- [1153] Global inventories and direct emission estimations of greenhouse gases of refrigeration systems, Sabine Saba, Ph. D; Thesis MINES-ParisTech December 2009

- [1154] ADEME, Rapport annuel de l'Observatoire des fluides frigorigènes et gaz fluorés
- [1155] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 -1.A.3.b.v Gasoline evaporation
- [1156] Service statistique du Ministère en charge de l'environnement - SDES. Données et études statistiques: Parc de voitures selon la vignette Crit'air
- [1157] AURA-EE (AURA Energie Environnement), Cartographie des unités de méthanisation, 2017.
- [1158] ADEME, méthanisation en Bourgogne-Franche-Comté, retours d'expérience et perspectives. Journée régionale d'échanges, 9 avril 2019 - Beaune
- [1159] AILE, Cartes et chiffres clés Bretagne et Pays de la Loire : état des lieux de la méthanisation au 1er janvier 2020
- [1160] Observatoire Environnement Bretagne (OEB), 2020. Base de données sur les installations de méthanisation en Bretagne (<https://bretagne-environnement.fr/installations-methanisation-bretagne-evolution-datavisualisation>)
- [1161] ADEME Centre Val de Loire, Cartographie des unités de méthanisation en Centre Val de Loire, 2019.
- [1162] Chambre d'agriculture Grand Est, Etat des lieux des méthaniseurs, 2019. (<http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/3-rex-suivi-methaniseurs-chambre-agriculture.pdf>)
- [1163] Chambre d'agriculture Hauts de France, Etat des lieux des méthaniseurs, 2020
- [1164] Institut d'aménagement et d'urbanisme - Bilan de la méthanisation en Ile-de-France, 2020
- [1165] Chambre d'agriculture Normandie, Bilan des unités de méthanisation, 2020. (<https://normandie.chambres-agriculture.fr/conseils-et-services/preserver-lenvironnement/energies/produire-de-lenergie/methanisation/plan-methanisation-normandie/>)
- [1166] ADEME Occitanie, Carte des unités de méthanisation en fonctionnement, 2017.
- [1167] Collectif Métha'Synergie, 2020
- [1168] Agence Régionale d'Évaluation Environnement & Climat (AREC), Etat du développement de la méthanisation en nouvelle-aquitaine
- [1169] EMEP/EEA 2019 - Section 2.H.2 Food and beverages industry
- [1170] OFDT - drogues et addictions dans les Outre-mer, juin 2020
- [1171] ORS Réunion - Lettre n° 30 - les chiffres clés du tabagisme à La Réunion, 29 octobre 2021
- [1172] INSEE - Statistiques ProdFRA de 2008 à année N-1 sur la fabrication de savons, détergents et produits d'entretien, de parfums et de produits pour la toilette, d'huiles essentielles
- [1173] RIVM, 2006, Cleaning Products Fact Sheet
- [1174] RIVM, 2006, Cosmetics Fact Sheet
- [1175] EUROPEAN COMMISSION, 2002, Screening study to identify reductions in VOC emissions due to the restrictions in the VOC content of products; [http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/paint\\_solvents/2002\\_02\\_bipro\\_final\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/paint_solvents/2002_02_bipro_final_report.pdf).
- [1176] THELOKE J., 2005, NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelanwendung und Möglichkeiten zu ihrer Minderung
- [1177] ARCADIS, 2010, NMVOC emissions through domestic solvent use and the use of paints in the Brussels Capital Region
- [1178] RIVM, 2018, Cleaning Products Fact Sheet
- [1179] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2019 - secteur 1A1b - SNAP 010301/010302/010306 - FE NOx - tables 4-2 à 4-6
- [1180] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2019 - secteur 1A1b - SNAP 010305 - FE NOx - tables 4-7 et 4-8
- [1181] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2019 - secteur 1A1a - SNAP 010304 assimilée à SNAP 010104 et 010105 - FE NOx - tables 3-17 et 3-18

- [1182] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.1 Energy industries, tables 4-5 et 4-6, FE TSP pour le gaz naturel et le FOD
- [1183] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.1 Energy industries, tables 4-8, FE BC pour les moteurs au FOD
- [1184] "EMEP/EEA - Emission Inventory Guidebook 2016 - 1.B.2.c Venting and flaring, Flaring in oil and gas extraction (p 7 - table 3-1)"
- [1185] "EMEP/EEA Emissions Inventory Guidebook 2019 - 1.B.2.c Venting and flaring, Flaring in oil refineries (p11 - Table 3-4)"
- [1186] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, Table 3-28 p63 et Table 3-30 p65
- [1187] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.B.1.a Fugitive emissions from solid fuels: Coal mining and handling, table 3-2, 3-3 et 3-6
- [1188] EMEP / EEA 2013 - Section 1.B.2.a.v Distribution of oil products, table 3-10 et 3-11
- [1189] Guide EMEP/EEA 2019, 1.B.2.a.v Distribution of oil products, Table 3-15
- [1190] RECYLUM, Recyclage des lampes - Echanges internes
- [1191] RÈGLEMENT D'EXÉCUTION (UE) 2018/2066 DE LA COMMISSION du 19 décembre 2018 relatif à la surveillance et à la déclaration des émissions de gaz à effet de serre au titre de la directive 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil et modifiant le règlement (UE) no 601/2012 de la Commission
- [1192] ADEME, 2012, Fiche technique "épandage" : la valeur agronomique des boues d'épuration <http://www.ademe.fr/partenaires/boues/pages/f22.htm> [dernière visite : 12/11/2012]
- [1193] IPCC, 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands
- [1194] Stehfest, E., Bouwman, A.F., 2006. N2O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 74, 207-228. <https://doi.org/10.1007/s10705-006-9000-7>
- [1195] VCM enquête opérationnelle 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 2023 - Chapitre 5E - Tables 3-2 ; 3-3 ; 3-4 ; 3-5
- [1199] INSEE - Les conditions de logement en France - Edition 2017
- [1200] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1-a-4-small-combustion - Table 3.6 - Tier 1 emission factors for NFR source category 1.A.4.b, using biomass
- [1201] Vancutsem, C., Achard, F., Pekel, J. F., Vieilledent, G., Carboni, S., Simonetti, D., ... & Nasi, R. (2021). Long-term (1990-2019) monitoring of forest cover changes in the humid tropics. *Science Advances*, 7(10), eabe1603
- [1202] Tanneberger F., Moen, A., Joosten, H., & Nilsen, N. (2017). The peatland map of Europe. *Mires and Peat*. 2017, 19 (22), 1-17
- [1203] Copernicus (Commission européenne / AEE), données High Resolution Layers, disponible en ligne : <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers>
- [1204] Agence de Services et de Paiements (ASP), données du Registre Parcellaire Graphique (RPG), base de données géographiques servant de référence à l'instruction des aides de la politique agricole commune (PAC). Données annuelles depuis 2007 disponibles en ligne : <https://geoservices.ign.fr/rpg>
- [1205] DONNEE Surfaces potentiellement brûlées MODIS Quasi-Temps réel (MCD14DL) <https://geoportail.oeil.nc/geoportal/catalog/>

- [1206] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 2H2 Food and Beverages industry, table 3-7 FE COVNM de la fermentation
- [1207] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Part B section 2D3b Road paving with asphalt
- [1208] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 3, Chapitre 4, section 4.4.2.1
- [1209] Directive 97/68/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 1997 sur le rapprochement des législations des États membres relatives aux mesures contre les émissions de gaz et de particules polluants provenant des moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers
- [1210] Méthode de calcul du facteur d'émission CO<sub>2</sub> des points d'entrée du gaz naturel, Citepa&GRTgaz
- [1211] Valorisation et partage de la connaissance du parc des installations bois-énergie, rapports annuels, CIBE
- [1212] Cortea Acibioqa - Amélioration des connaissances en matière d'impact des chaufferies biomasse sur la qualité de l'air, ADEME
- [1213] Réévaluation des facteurs d'émission des particules totales (solide et condensable) du chauffage domestique au bois, impacts sur les inventaires d'émission, Ineris & Citepa - 206576 - 2740861 - v2.0
- [1214] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1A4 Small combustion - Tables 3.39 à 3.44 - Tier 2 emission factors for NFR source category 1.A.4.b, using biomass
- [1215] "Données européennes - productions, importations, exportations  
[https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/DS-056120\\_\\_custom\\_3664074/default/table?lang=fr](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/DS-056120__custom_3664074/default/table?lang=fr) "
- [1216] GIEC - Guidelines 2019 Volume 5, Chapitre 2,
- [1217] GIEC - Guidelines 2019, Volume 5, Chapitre 3, Table 3.1
- [1218] ADEME - Impact sanitaire et environnemental du compostage domestique
- [1219] ADEME - Programme de recherche de l'ADEME sur les émissions atmosphériques du compostage - connaissances acquises et synthèse bibliographique
- [1220] Defra UK Ship Emissions Inventory Final Report, 2010.
- [1221] Fourth IMO GHG Study 2020 Full Report
- [1222] "Z. Klimont et al., "Global anthropogenic emissions of particulate matter including black carbon," Atmos Chem Phys, vol. 17, no. 14, pp. 8681-8723, Jul. 2017, doi: 10.5194/acp-17-8681-2017."
- [1223] SNCF - Données de trafic ferroviaire issue du Data Lab pour l'année 2018
- [1224] EMEP EEA Guidebook - 2006 - group 02 - chapitre B216 - Tables 8.2d et 8.2e
- [1225] ADEME - Baromètre Environnement
- [1226] INRAE - Emissions de N<sub>2</sub>O dans la filière de traitement et de valorisation des boues - 2018
- [1227] Rapport annuel de l'institut d'émission d'outre-mer (IEOM) - Nouvelle-Calédonie
- [1228] GIEC - 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands - Table 6.4
- [1229] 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use
- [1230] Levasseur P., Soulier A., Lagrange H., Trochard R., Foray S., Charpiot A., Ponchant P. et Blazy V. « Valorisation agricole des effluents d'élevages de porcs, bovins, ovins, caprins, volailles et lapins. RMT Elevage et Environnement », 2019.
- [1231] Martin-Rosset, W., Vermorel, M., Fleurance, G. et Doligez, P., « Evaluation et prévision de différentes sources de pollution issues de l'élevage et de l'utilisation du cheval. 39<sup>ème</sup> Journée de la Recherche Equine », 2013.
- [1232] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 1A2 Manufacturing industries and construction - table 3.3 Tier 1 emission factor for 1A2 combustion in industry using gaseous fuels

- [1233] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 1.A.1 Energy industries, table 3-5 Tier 1 emission factors for source category 1.A.1.a using heavy fuel oil
- [1234] "EMEP/EEA - Emission Inventory Guidebook 2019 - 1.B.2.c Venting and flaring, Flaring in oil and gas extraction (table 3-1)"
- [1235] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 1A2 Manufacturing industries and construction - table 3.3 Tier 1 emission factor for 1A2 combustion in industry using gaseous fuels
- [1236] Bilans de fonctionnement des unités de méthanisation en Auvergne- Rhône-Alpes
- [1237] AILE, Etat des lieux de la méthanisation en Bretagne
- [1238] Schéma Régional Biomasse Grand Est, Mars 2021, v9 - Ademe, Préfecture Grand Est, Solagro, Indiggo, Biomasse conseil
- [1239] AREC, Bilan de fonctionnement 2020 des unités de méthanisation en Ile de France - Rapport complet - février 2022
- [1240] Chambre d'agriculture de Normandie, 2021, Qualité agronomique des digestats en Normandie, Guide technique, Décembre 2021.
- [1241] DREAL Pays de la Loire, Analyse des bilans de fonctionnement 2019 des installations de la filière biogaz en Pays de la Loire
- [1242] U Skiba et al 2021 Environ. Res. Lett. 16 025009 « Assessing the Contribution of Soil NO<sub>x</sub> Emissions to European Atmospheric Pollution ». <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd2f2>.
- [1243] Synthèse agences de l'eau - 2015 à 2018
- [1244] Arrêté du 2 février 1998 - article 33 - point 17 (Stations d'épuration mixtes) - Legifrance
- [1245] IRSTEA - INVENTAIRE DES GES EMIS LORS DU TRAITEMENT ET DE LA VALORISATION DES BOUES D'EPURATION
- [1246] Crédoc - Consommation annuelle de protéines en France - 1999 à 2019
- [1247] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 2.B Chemical industry, table 3.30
- [1248] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1-a-4-small-combustion - Tables 3.42 - Tier 2 emission factors for NFR source category 1.A.4.b, using biomass
- [1249] Recensement agricole 2020. Données communiquées par le MASA fin 2022, en attente de publication.
- [1250] Références d'excrétions azotées Itavi, mise à jour 2021, en cours de publication.
- [1251] CNIEL, 2018.Le pâturage des vaches laitières françaises - Etat des lieux de la pratique pour l'ensemble des territoires français
- [1252] Site internet Web-agri pour les durées de lactation en vaches allaitantes. <https://www.web-agri.fr/alimentation-animale/article/208210/courbe-de-lactation-d-une-vache-allaitante>
- [1253] Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, Communiqué de presse du 7 septembre 2022, quantité de tabac consommé en 2020 et 2021 en Nouvelle-Calédonie
- [1254] ISPF (institut de la statistique de la Polynésie française), Importations de tabac
- [1255] Performances techniques et indicateurs économiques en poules pondeuses. Itavi, multiples années.
- [1256] Performances techniques et coûts de production en volailles de chair. Itavi, multiples années.
- [1257] Performances techniques et résultats économiques des volailles de chair biologiques et sous label rouge. Itavi, multiples années.
- [1258] Résultats technico-économiques en palmipèdes gras. Itavi, multiples années.
- [1259] Devun et al (2011). Fourrages conservés et modes de récolte : la situation selon les systèmes d'élevage en France
- [1260] DAVAR, 2012, Recensement général agricole, Nouvelle Calédonie, <https://davar.gouv.nc/>

- [1261] Ministère du Développement des activités du secteur primaire, 2012, Recensement général de l'agriculture en polynésie française
- [1262] Plan de développement agricole durable à Saint-Pierre et Miquelon , 2018. CACIMA, Chambres d'agricultures, Salva Terra
- [1263] DRAAF Saint Martin, 2021, Le Plan Territorial de l'Agriculture Durable de Saint-Martin. Mars 2021
- [1264] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 1A1 Energy industries - Table 4.2 - Tier 1 emission factors for source category 1.A.1.b, refinery gas
- [1265] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, section 1A1 Energy industries - Table 3.15 - Tier 2 emission factors for source category 1.A.1.a dry bottom boiler using wood and wood waste pour FE ML
- [1266] Institut national du cancer - Chiffres clés de l'observatoire national de la radiothérapie entre 2017 et 2021
- [1267] ORS Réunion - Tableau de bord - Les comportements addictifs à la Réunion - 2022
- [1268] France Agrimer - La consommation de produits laitiers
- [1269] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 1A1 Energy industries - Table 3-17 - Tier 2 emission factors for source category 1.A.1.a, gas turbines using gaseous fuels
- [1270] "Maaf, Ecofor, 2018. Indicateurs de gestion durable des forêts françaises ultramarines de la Martinique / Guyane / Guadeloupe, édition 2015"
- [1271] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1a4 Non-road mobile sources and machinery, Annexe E - Table E.1 Diesel <130 kW 1991- Stage 1
- [1272] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1A4 Small combustion - FE BC pour le 1A4b residential (Tables 3.3 et 3.4)
- [1273] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.4 Small combustion, tables 3-7 / 3-8 / 3-9 / 3-23 / 3-45 pour FE BC
- [1274] DASSOT Mathieu, COMMAGNAC Loïc, LETOUZE Frédéric, COLIN Antoine. 2022. Stocks de bois et de carbone dans les haies bocagères françaises. 66 pages.
- [1275] M. Jonard, I. Caignet, Q. Ponette, M. Nicolas. Evolution du carbone des sols forestiers de France métropolitaine - Détection et quantification à partir des données mesurées sur le réseau RENECOFOR. Rapport final. Juillet 2013
- [1277] Mouillot et al, 2006 - Global Carbon Emissions from biomass burning in 20th century. Geophysical Research Letters 33(1).
- [1276] "Rapport annuel - Mémo statistiques , Sucres et autres débouchés - Association Cultures Secure - Depuis 2009  
<https://www.cultures-sucre.com/Medias/content-editor/pdf/memo-stat-2023-FR-planche-BD.pdf>"
- [1273] HEFA Production and Feedstock Selection 2019, CBSCI
- [1274] CARBURE : La plateforme de gestion des flux de biocarburants, <https://carbure.beta.gouv.fr/>
- [1275] INSEE - Statistiques annuelles de l'habitat individuelle et collectif
- [1276] EMEP/EEA 2023 1A1 Energy Industries - Tables 3-7 / 3-11 / 3-13 / 3-15 / 3-20 / 3-21 - Tier 2 emission factors for source category 1.A.1.a
- [1277] Données et études statistiques du Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires - Base de diffusion des données Dido - Listes des permis de construire et autres autorisations d'urbanisme (<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/catalogue?page=dataset&datasetId=6513f0189d7d312c80ec5b5b>)
- [1278] Cylinder lubrication of two-stroke crosshead marine diesel engines (wartsila.com)

- [1279] Kaminski, W. Marine Slow-Speed Engines' Cylinder Oil Lubrication Feed Rate Optimization in Real Operational Conditions. *Energies* 2022, 15, 8378. <https://doi.org/10.3390/en15228378>
- [1280] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.d Navigation -shipping
- [1281] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.b.i-iv Road transport
- [1282] IPCC Guidelines Volume 3, Chapter 5, TABLE 5.2 : Default oxidation fractions for lubricating oils, grease and lubricants in general
- [1283] INSEE - Taux de conformité des dispositifs d'assainissement non collectif
- [1284] IPCC GL 2006 - Refinement 2019 - Volume 5 - Chapitre 6 - Tableau 6.8A
- [1285] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.c Railways 2023
- [1286] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.b.vi-vii Road tyre and brake wear 2023
- [1287] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 2.C.1
- [1288] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.2 Manufacturing industries and construction (combustion) - Table 3-3
- [1289] Service statistique du Ministère en charge de l'environnement - SDES. Données et études statistiques : Données relatives aux immatriculations des véhicules neufs et d'occasion.
- [1291] ONISR (Observatoire national interministériel de la sécurité routière). La sécurité routière en France : Bilan de l'accidentalité annuel.
- [1292] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 5.C1.a Municipal waste incineration - Table 3-2 - Tier 2 emission factors for source category 5.C.1.a Municipal waste incineration
- [1293] DAVAR - Mémento agricole Nouvelle-Calédonie (annuel). <https://davar.gouv.nc/secteur-rural-statistiques-agricoles/le-memento-agricole>
- [1294] Données douanes - Import / Export engrais organiques ([https://www.douane.gouv.fr/la-douane/opendata?f%5B0%5D=categorie\\_opendata\\_facet%3A458](https://www.douane.gouv.fr/la-douane/opendata?f%5B0%5D=categorie_opendata_facet%3A458))
- [1295] Esnouf A., Brockmann D., Cresson R., 2021. Analyse du cycle de vie du biométhane issu de ressources agricoles - Rapport d'ACV. INRAE Transfert, 170pp.
- [1296] AGRESTE, Recensement agricole 2000
- [1297] AGRESTE, Recensement agricole 2010
- [1298] Levasseur P., Soulier A., Lagrange H., Trochard R., Foray S., Charpiot A., Ponchant P. et Blazy V. Valorisation agronomique des effluents d'élevages de porcs, bovins, ovins, caprins, volailles et lapins. RMT Elevage et Environnement, Paris, 83 pages.
- [1299] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.a Aviation
- [1300] Mail de Groupe européen de l'industrie des solvants (ESIG) avec des facteurs d'émission de COVNM par habitant liés à l'utilisation de solvants en France.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
11/01/2019	AD	26/02/2019	JPC

## ANNEXE 1 : NOMENCLATURE D'ACTIVITES EMETTRICES SNAP 97c

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)

EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
01	Combustion dans les industries de l'énergie et de la transformation de l'énergie	01	Combustion in energy and transformation industries
0101	Production d'électricité	0101	Public power
010101	Production d'électricité - Install. <sup>3</sup> 300 MW (chaudières)	010101	Combustion plants <sup>3</sup> 300 MW (boilers)
010102	Production d'électricité - Install. <sup>3</sup> 50 MW et < 300 MW (chaudières)	010102	Combustion plants <sup>3</sup> 50 and < 300 MW (boilers)
010103	Production d'électricité - Installations < 50 MW (chaudières)	010103	Combustion plants < 50 MW (boilers)
010104	Production d'électricité - Turbines à gaz	010104	Gas turbines
010105	Production d'électricité - Moteurs fixes	010105	Stationary engines
010106	<i>Production d'électricité - Autres équipements (incinération de déchets domestiques avec récupération d'énergie)</i>	010106	<i>Other (domestic waste incineration with energy recovery)</i>
0102	Chauffage urbain	0102	District heating plants
010201	Chauffage urbain - Installations <sup>3</sup> 300 MW (chaudières)	010201	Combustion plants <sup>3</sup> 300 MW (boilers)
010202	Chauffage urbain - Installations <sup>3</sup> 50 MW et < 300 MW (chaudières)	010202	Combustion plants <sup>3</sup> 50 and < 300 MW (boilers)
010203	Chauffage urbain - Installations < 50 MW (chaudières)	010203	Combustion plants < 50 MW (boilers)
010204	Chauffage urbain - Turbines à gaz	010204	Gas turbines
010205	Chauffage urbain - Moteurs fixes	010205	Stationary engines
0103	Raffinage du pétrole	0103	Petroleum refining plants
010301	Raffineries - Installations <sup>3</sup> 300MW (chaudières)	010301	Combustion plants <sup>3</sup> 300 MW (boilers)
010302	Raffineries - Installations <sup>3</sup> 50 MW et < 300 MW (chaudières)	010302	Combustion plants <sup>3</sup> 50 and < 300 MW (boilers)
010303	Raffineries - Installations < 50 MW (chaudières)	010303	Combustion plants < 50 MW (boilers)
010304	Raffineries - Turbines à gaz	010304	Gas turbines
010305	Raffineries - Moteurs fixes	010305	Stationary engines
010306	Raffineries - Fours de procédés	010306	Process furnaces
0104	Transformation des combustibles minéraux solides	0104	Solid fuel transformation plants
010401	Installations de combustion <sup>3</sup> 300 MW (chaudières)	010401	Combustion plants <sup>3</sup> 300 MW (boilers)

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
010402	Installations de combustion <sup>3</sup> 50 MW et < 300 MW (chaudières)	010402	Combustion plants <sup>3</sup> 50 and < 300 MW (boilers)
010403	Installations de combustion < 50 MW (chaudières)	010403	Combustion plants < 50 MW (boilers)
010404	Installations de combustion - Turbines à gaz	010404	Gas turbines
010405	Installations de combustion - Moteurs fixes	010405	Stationary engines
010406	Four à Coke	010406	Coke oven furnaces
010407	Autre (gazéification du charbon, liquéfaction ...)	010407	Other (coal gasification, liquefaction, ...)
0105	Mines de charbon, extraction de gaz/pétrole, stations de compression	0105	Coal mining, oil / gas extraction, pipeline compressors
010501	Installations de combustion <sup>3</sup> 300 MW (chaudières)	010501	Combustion plants <sup>3</sup> 300 MW (boilers)
010502	Installations de combustion <sup>3</sup> 50 MW et < 300 MW (chaudières)	010502	Combustion plants <sup>3</sup> 50 and < 300 MW (boilers)
010503	Installations de combustion < 50 MW (chaudières)	010503	Combustion plants < 50 MW (boilers)
010504	Installations de combustion - Turbines à gaz	010504	Gas turbines
010505	Installations de combustion - Moteurs fixes	010505	Stationary engines
010506	Stations de compression	010506	Pipeline compressors
<b>02</b>	<b>Combustion hors industrie</b>	<b>02</b>	<b>Non-industrial combustion plants</b>
0201	Commercial et institutionnel	0201	Commercial and institutional plants
020101	Installations de combustion <sup>3</sup> 300 MW (chaudières)	020101	Combustion plants <sup>3</sup> 300 MW (boilers)
020102	Installations de combustion <sup>3</sup> 50 MW et < 300 MW (chaudières)	020102	Combustion plants <sup>3</sup> 50 and < 300 MW (boilers)
020103	Installations de combustion < 50 MW (chaudières)	020103	Combustion plants < 50 MW (boilers)
020104	Installations de combustion - Turbines à gaz	020104	Stationary gas turbines
020105	Installations de combustion - Moteurs fixes	020105	Stationary engines
020106	Autres Installations fixes	020106	Other stationary equipments
0202	Résidentiel	0202	Residential plants
020201	Installations de combustion <sup>3</sup> 50 MW (chaudières)	020201	Combustion plants <sup>3</sup> 50 MW (boilers)
020202	Installations de combustion < 50 MW (chaudières)	020202	Combustion plants < 50 MW (boilers)
020203	Turbines à gaz	020203	Gas turbines
020204	Moteurs fixes	020204	Stationary engines
020205	Autres équipements (fourneaux, poêles, cheminées, gazinières ...)	020205	Other equipments (stoves, fireplaces, cooking,...)
0203	Agriculture, sylviculture et aquaculture	0203	Plants in agriculture, forestry and aquaculture
020301	Installations de combustion <sup>3</sup> 50 MW (chaudières)	020301	Combustion plants <sup>3</sup> 50 MW (boilers)

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
020302	Installations de combustion < 50 MW (chaudières)	020302	Combustion plants < 50 MW (boilers)
020303	Turbines à gaz fixes	020303	Stationary gas turbines
020304	Moteurs fixes	020304	Stationary engines
020305	Autres équipements fixes	020305	Other stationary equipments
<b>03</b>	<b>Combustion dans l'industrie manufacturière</b>	<b>03</b>	<b>Combustion in manufacturing industry</b>
0301	Chaudières, turbines à gaz, moteurs fixes	0301	Comb. in boilers, gas turbines and stationary engines
030101	Combustion industrie - Installations <sup>3</sup> 300 MW (chaudières)	030101	Combustion plants <sup>3</sup> 300 MW (boilers)
030102	Combustion industrie - Install. <sup>3</sup> 50 MW et < 300 MW (chaudières)	030102	Combustion plants <sup>3</sup> 50 and < 300 MW (boilers)
030103	Combustion industrie - Installations < 50 MW (chaudières)	030103	Combustion plants < 50 MW (boilers)
030104	Combustion industrie - Turbines à gaz	030104	Gas turbines
030105	Combustion industrie - Moteurs fixes	030105	Stationary engines
030106	Autres équipements fixes	030106	Other stationary equipments
0302	Fours sans contact	0302	Process furnaces without contact
030203	Régénérateurs de haut fourneau	030203	Blast furnace cowpers
030204	Fours à plâtre	030204	Plaster furnaces
030205	Autres fours	030205	Other furnaces
0303	Procédés énergétiques avec contact	0303	Processes with contact
030301	Chaînes d'agglomération de minerai	030301	Sinter and pelletizing plants
030302	Fours de réchauffage pour l'acier et métaux ferreux	030302	Reheating furnaces steel and iron
030303	Fonderies de fonte grise	030303	Gray iron foundries
030304	Plomb de première fusion	030304	Primary lead production
030305	Zinc de première fusion	030305	Primary zinc production
030306	Cuivre de première fusion	030306	Primary copper production
030307	Plomb de seconde fusion	030307	Secondary lead production
030308	Zinc de seconde fusion	030308	Secondary zinc production
030309	Cuivre de seconde fusion	030309	Secondary copper production
030310	Aluminium de seconde fusion	030310	Secondary aluminium production
030311	Ciment	030311	Cement
030312	Chaux	030312	Lime (includes iron and steel and paper pulp industries)
030313	Produits de recouvrement des routes (stations d'enrobage)	030313	Asphalt concrete plants
030314	Verre plat	030314	Flat glass

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
030315	Verre creux	030315	Container glass
030316	Fibre de verre (hors liant)	030316	Glass wool (except binding)
030317	Autres verres	030317	Other glass
030318	Fibres minérales (hors liant)	030318	Mineral wool (except binding)
030319	Tuiles et briques	030319	Bricks and tiles
030320	Céramiques fines	030320	Fine ceramic materials
030321	Papeterie (séchage)	030321	Paper-mill industry (drying processes)
030322	Alumine	030322	Alumina production
030323	Production de magnésium (traitement à la dolomie)	030323	Magnesium production (dolomite treatment)
030324	Production de nickel (procédé thermique)	030324	Nickel production (thermal process)
030325	Production d'émail	030325	Enamel production
030326	Autres	030326	Other
<b>04</b>	<b>Procédés de production</b>	<b>04</b>	<b>Production processes</b>
0401	Procédés de l'industrie pétrolière	0401	Processes in petroleum industries
040101	Elaboration de produits pétroliers	040101	Petroleum products processing
040102	Craqueur catalytique - chaudière à CO	040102	Fluid catalytic cracking - CO boiler
040103	Récupération de soufre (unités Claus)	040103	Sulphur recovery plants
040104	Stockage et manutention produits pétroliers en raffinerie	040104	Storage and handling of petroleum products. in refinery
040105	Autres	040105	Other
0402	Procédés de la sidérurgie et des houillères	0402	Processes in iron and steel industries and collieries
040201	Fours à coke (fuites et extinction)	040201	Coke oven (door leakage and extinction)
040202	Chargement des hauts fourneaux	040202	Blast furnace charging
040203	Coulée de la fonte brute	040203	Pig iron tapping
040204	Fabrication de combustibles solides défumés	040204	Solid smokeless fuel
040205	Fours creuset pour l'acier	040205	Open hearth furnace steel plant
040206	Fours à l'oxygène pour l'acier	040206	Basic oxygen furnace steel plant
040207	Fours électriques pour l'acier	040207	Electric furnace steel plant
040208	Laminoirs	040208	Rolling mills
040209	Chaînes d'agglomération de minerai (excepté 03.03.01)	040209	Sinter and pelletizing plant (except comb. 03.03.01)
040210	Autres	040210	Other
0403	Procédés de l'industrie des métaux non-ferreux	0403	Processes in non-ferrous metal industries
040301	Production d'aluminium (électrolyse)	040301	Aluminium production (electrolysis)
040302	Ferro alliages	040302	Ferro alloys

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
040303	Production de silicium	040303	Silicium production
040304	Production de magnésium (excepté 03.03.23)	040304	Magnesium production (except 03.03.23)
040305	Production de nickel (excepté 03.03.24)	040305	Nickel production (except 03.03.24)
040306	Fabrication de métaux alliés	040306	Allied metal manufacturing
040307	Galvanisation	040307	Galvanizing
040308	Traitement électrolytique	040308	Electroplating
040309	Autres	040309	Other
0404	Procédés de l'industrie chimique inorganique	0404	Processes in inorganic chemical industries
040401	Acide sulfurique	040401	Sulfuric acid
040402	Acide nitrique	040402	Nitric acid
040403	Ammoniac	040403	Ammonia
040404	Sulfate d'ammonium	040404	Ammonium sulphate
040405	Nitrate d'ammonium	040405	Ammonium nitrate
040406	Phosphate d'ammonium	040406	Ammonium phosphate
040407	Engrais NPK	040407	NPK fertilisers
040408	Urée	040408	Urea
040409	Noir de carbone	040409	Carbon black
040410	Dioxyde de titane	040410	Titanium dioxide
040411	Graphite	040411	Graphite
040412	Carbure de calcium	040412	Calcium carbide production
040413	Chlore	040413	Chlorine production
040414	Engrais phosphatés	040414	Phosphate fertilizers
040415	Stockage et manutention des produits chimiques inorganiques	040415	Storage and handling of inorganic chemical products
040416	Autres	040416	Other
0405	Procédés de l'industrie chimique organique	0405	Process in organic chemical industry (bulk production)
040501	Ethylène	040501	Ethylene
040502	Propylène	040502	Propylene
040503	1,2 dichloroéthane (excepté 04.05.05)	040503	1,2 dichloroethane (except 04.05.05)
040504	Chlorure de vinyle (excepté 04.05.05)	040504	Vinylchloride (except 04.05.05)
040505	1,2 dichloroéthane + chlorure de vinyle (balanced process)	040505	1,2 dichloroethane + vinylchloride (balanced process)
040506	Polyéthylène basse densité	040506	Polyethylene Low Density
040507	Polyéthylène haute densité	040507	Polyethylene High Density
040508	Polychlorure de vinyle	040508	Polyvinylchloride

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
040509	Polypropylène	040509	Polypropylene
040510	Styrène	040510	Styrene
040511	Polystyrène	040511	Polystyrene
040512	Butadiène styrène	040512	Styrene butadiene
040513	Butadiène styrène latex	040513	Styrene-butadiene latex
040514	Butadiène styrène caoutchouc (SBR)	040514	Styrene-butadiene rubber (SBR)
040515	Résines butadiène styrène acrylonitrile (ABS)	040515	Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) resins
040516	Oxyde d'éthylène	040516	Ethylene oxide
040517	Formaldéhyde	040517	Formaldehyde
040518	Ethylbenzène	040518	Ethylbenzene
040519	Anhydride phtalique	040519	Phtalic anhydride
040520	Acrylonitrile	040520	Acrylonitrile
040521	Acide adipique	040521	Adipic acid
040522	Stockage et manipulation de produits chimiques organiques	040522	Storage and handling of organic chemical products
040523	Acide glyoxylique	040523	Glyoxylic acid
040524	Production d'hydrocarbures halogénés	040524	Halogenated hydrocarbons production
040525	Production de pesticides	040525	Pesticide production
040526	Production de composés organiques persistants	040526	Production of persistent organic compounds
040527	Autres (produits phytosanitaires, ...)	040527	Other (phytosanitary,...)
0406	Procédés des industries du bois, de la pâte à papier, de l'alimentation, de la boisson et autres	0406	Processes in wood, paper pulp, food, drink and other industries
040601	Panneaux agglomérés	040601	Chipboard
040602	Pâte à papier (procédé kraft)	040602	Paper pulp (kraft process)
040603	Pâte à papier (procédé au bisulfite)	040603	Paper pulp (acid sulfite process)
040604	Pâte à papier (procédé mi-chimique)	040604	Paper pulp (Neutral Sulphite Semi-Chemical process)
040605	Pain	040605	Bread
040606	Vin	040606	Wine
040607	Bière	040607	Beer
040608	Alcools	040608	Spirits
040610	Matériaux asphaltés pour toiture	040610	Roof covering with asphalt materials
040611	Recouvrement des routes par l'asphalte	040611	Road paving with asphalt
040612	Ciment (décarbonatation)	040612	Cement (decarbonizing)
040613	Verre (décarbonatation)	040613	Glass (decarbonizing)
040614	Chaux (décarbonatation)	040614	Lime (decarbonizing)

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
040615	Fabrication d'accumulateurs	040615	Batteries manufacturing
040616	Extraction de minerais minéraux	040616	Extraction of mineral ores
040617	Autres (y compris produits contenant de l'amiante)	040617	Other (including asbestos products manufacturing)
040618	Utilisation de calcaire et de dolomie	040618	Limestone and dolomite use
040619	Utilisation et production de carbonate de soude et dérivés	040619	Production and use of Soda ash and derivatives
040620	<i>Travail du bois</i>	040620	<i>Wood manufacturing</i>
040621	<i>Manutention de céréales</i>	040621	<i>Cereals handling</i>
040622	<i>Production de produits explosifs</i>	040622	<i>Explosives manufacturing</i>
040623	<i>Exploitation de carrières</i>	040623	<i>Quarrying</i>
040624	<i>Chantier et BTP</i>	040624	<i>Public works and building sites</i>
040625	<i>Production de sucre</i>	040625	<i>Sugar production</i>
040626	<i>Production de farine</i>	040626	<i>Flour production</i>
040627	<i>Fumage de viande</i>	040627	<i>Meat curing</i>
040628	<i>Tuiles et briques (décarbonatation)</i>	040628	<i>Bricks and tiles (decarbonizing)</i>
040629	<i>Céramiques fines (décarbonatation)</i>	040629	<i>Fine ceramic materials (decarbonizing)</i>
040630	<i>Papeterie (décarbonatation)</i>	040630	<i>Paper-mill industry (decarbonizing)</i>
040631	<i>Autre décarbonatation</i>	040631	<i>Other decarbonizing</i>
0408	Production d'halocarbures et d'hexafluorure de soufre	0408	Production of halocarbons and sulphur hexafluoride
040801	Production d'hydrocarbures halogénés - produits dérivés	040801	Halogenated hydrocarbons production - By-products
040802	Production d'hydrocarbures halogénés - émissions fugitives	040802	Halogenated hydrocarbons production - Fugitive
040803	Production d'hydrocarbures halogénés - autres	040803	Halogenated hydrocarbons production - Other
040804	Production d'hexafluorure de soufre - produits dérivés	040804	Sulphur hexafluoride production - By-products
040805	Production d'hexafluorure de soufre - émissions fugitives	040805	Sulphur hexafluoride production - Fugitive
040806	Production d'hexafluorure de soufre - autres	040806	Sulphur hexafluoride production - Other
05	Extraction et distribution de combustibles fossiles/énergie géothermique	05	Extraction and distribution of fossil fuels and geothermal energy
0501	Extraction et premier traitement des combustibles fossiles solides	0501	Extraction and 1st treatment of solid fossil fuels
050101	Mines découvertes	050101	Open cast mining
050102	Mines souterraines	050102	Underground mining
050103	Stockage des combustibles solides	050103	Storage of solid fuel

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
0502	Extraction, premier traitement et chargement des combustibles fossiles liquides	0502	Extraction, 1st treatment and loading of liquid
050201	Activités terrestres	050201	Land-based activities
050202	Activités en mer	050202	Off-shore activities
0503	Extraction, premier traitement et chargement des combustibles fossiles gazeux	0503	Extraction, 1st treatment and loading of gaseous fossil fuels
050301	Activités terrestres - désulfuration	050301	Land-based desulfuration
050302	Activités terrestres - autres que la désulfuration	050302	Land-based activities (other than desulfuration)
050303	Activités en mer	050303	Off-shore activities
0504	Distribution de combustibles liquides (sauf essence)	0504	Liquid fuel distribution (except gasoline distribution)
050401	Terminaux de navires (pétroliers, manutention, stockage)	050401	Marine terminals (tankers, handling and storage)
050402	Autres manutentions et stockages	050402	Other handling and storage (including pipeline)
0505	Distribution de l'essence	0505	Gasoline distribution
050501	Station d'expédition en raffinerie	050501	Refinery dispatch station
050502	Transport et dépôts (excepté stations services)	050502	Transport and depots (except 05.05.03)
050503	Stations services (y compris refoulement des réservoirs)	050503	Service stations (including refuelling of cars)
0506	Réseaux de distribution de gaz	0506	Gas distribution networks
050601	Pipelines	050601	Pipelines
050603	Réseaux de distribution	050603	Distribution networks
0507	Extraction énergie géothermique	0507	Geothermal energy extraction
06	Utilisation de solvants et autres produits	06	Solvent and other product use
0601	Application de peinture	0601	Paint application
060101	Construction de véhicules automobiles	060101	Paint application : manufacture of automobiles
060102	Réparations de véhicules	060102	Paint application : car repairing
060103	Bâtiment et construction (sauf 060107)	060103	Paint application : construction and buildings
060104	Utilisation domestique (sauf 060107)	060104	Paint application : domestic use (except 06.01.07)
060105	Prélaquage	060105	Paint application : coil coating
060106	Construction de bateaux	060106	Paint application : boat building
060107	Bois	060107	Paint application : wood
060108	Autres applications industrielles de peinture	060108	Other industrial paint application
060109	Autres applications de peinture (hors industrie)	060109	Other non industrial paint application
0602	Dégraissage, nettoyage à sec et électronique	0602	Degreasing, dry cleaning and electronics
060201	Dégraissage des métaux	060201	Metal degreasing

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
060202	Nettoyage à sec	060202	Dry cleaning
060203	Fabrication de composants électroniques	060203	Electronic components manufacturing
060204	Autres nettoyages industriels	060204	Other industrial cleaning
0603	Fabrication et mise en œuvre de produits chimiques	0603	Chemical products manufacturing or processing
060301	Mise en œuvre du polyester	060301	Polyester processing
060302	Mise en œuvre du polychlorure de vinyle	060302	Polyvinylchloride processing
060303	Mise en œuvre du polyuréthane	060303	Polyurethane processing
060304	Mise en œuvre de mousse de polystyrène	060304	Polystyrene foam processing
060305	Mise en œuvre du caoutchouc	060305	Rubber processing
060306	Fabrication de produits pharmaceutiques	060306	Pharmaceutical products manufacturing
060307	Fabrication de peinture	060307	Paints manufacturing
060308	Fabrication d'encre	060308	Inks manufacturing
060309	Fabrication de colles	060309	Glues manufacturing
060310	Soufflage de l'asphalte	060310	Asphalt blowing
060311	Fabrication de supports adhésifs, films et photos	060311	Adhesive, magnetic tapes, films and photographs manufacturing
060312	Apprêtage des textiles	060312	Textile finishing
060313	Tannage du cuir	060313	Leather tanning
060314	Autres	060314	Other
0604	Autres utilisations de solvants et activités associées	0604	Other use of solvents and related activities
060401	Enduction de fibres de verre	060401	Glass wool enduction
060402	Enduction de fibres minérales	060402	Mineral wool enduction
060403	Imprimerie	060403	Printing industry
060404	Extraction d'huiles comestibles et non comestibles	060404	Fat, edible and non edible oil extraction
060405	Application de colles et adhésifs	060405	Application of glues and adhesives
060406	Protection du bois	060406	Preservation of wood
060407	Traitement de protection du dessous des véhicules	060407	Underseal treatment and conservation of vehicles
060408	Utilisation domestique de solvants (autre que la peinture)	060408	Domestic solvent use (other than paint application)
060409	Préparation des carrosseries de véhicules	060409	Vehicles dewaxing
060411	Utilisation domestique de produits pharmaceutiques	060411	Domestic use of pharmaceutical products
060412	Autres (conservation du grain ...)	060412	Other (preservation of seeds,...)
0605	Utilisation du HFC, N <sub>2</sub> O, NH <sub>3</sub> , PFC et SF <sub>6</sub>	0605	Use of HFC, N <sub>2</sub> O, NH <sub>3</sub> , PFC and SF <sub>6</sub>
060501	Anesthésie	060501	Anaesthesia
060502	Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF <sub>6</sub>	060502	Refrigeration and air conditioning equipments using halocarbons

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
060503	Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des produits autres que des halocarbures ou du SF6	060503	Refrigeration and air conditioning equipments using other products than halocarbons
060504	Mise en oeuvre de mousse (excepté 060304)	060504	Foam blowing (except 060304)
060505	Extincteurs d'incendie	060505	Fire extinguishers
060506	Bombes aérosols	060506	Aerosol cans
060507	Equipements électriques (excepté 060203)	060507	Electrical equipments (except 060203)
060508	Autres	060508	Other
0606	Autres	0606	Other
060601	Utilisation de feux d'artifice	060601	Use of fireworks
060602	Consommation de tabac	060602	Use of tobacco
060603	Usure des chaussures	060603	Use of shoes
060604	Utilisation non énergétique de produits combustibles et solvants	060604	Non energy uses of products from fuels and solvents
<b>07</b>	<b>Transport routier</b>	<b>07</b>	<b>Road transport</b>
0701	Voitures particulières	0701	Passenger cars
070101	Transports routiers - Voitures particulières - autoroute	070101	Highway driving
070102	Transports routiers - Voitures particulières - route	070102	Rural driving
070103	Transports routiers - Voitures particulières - ville	070103	Urban driving
0702	Véhicules utilitaires légers < 3,5 t	0702	Light duty vehicles < 3.5 t
070201	Transports routiers - Utilitaires légers - autoroute	070201	Highway driving
070202	Transports routiers - Utilitaires légers - route	070202	Rural driving
070203	Transports routiers - Utilitaires légers - ville	070203	Urban driving
0703	Poids lourds > 3,5 t et bus	0703	Heavy duty vehicles > 3.5 t and buses
070301	Transports routiers - Utilitaires lourds - autoroute	070301	Highway driving
070302	Transports routiers - Utilitaires lourds - route	070302	Rural driving
070303	Transports routiers - Utilitaires lourds - ville	070303	Urban driving
0704	Motocyclettes et motos < 50 cm <sup>3</sup>	0704	Mopeds and Motorcycles < 50 cm <sup>3</sup>
0705	Motos > 50 cm <sup>3</sup>	0705	Motorcycles > 50 cm <sup>3</sup>
070501	Transports routiers - Motocyclettes > 50 cm <sup>3</sup> (autoroute)	070501	Highway driving
070502	Transports routiers - Motocyclettes > 50 cm <sup>3</sup> - route	070502	Rural driving
070503	Transports routiers - Motocyclettes > 50 cm <sup>3</sup> - ville	070503	Urban driving
0706	Evaporation d'essence des véhicules	0706	Gasoline evaporation from vehicles
0707	Pneus et plaquettes de freins	0707	Automobile tyre and brake wear

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
0708	<i>Usure des routes</i>	0708	<i>Road abrasion</i>
08	Autres sources mobiles et machines	08	Other mobile sources and machinery
0801	Activités militaires	0801	Military
0802	Trafic ferroviaire	0802	Railways
080201	Manoeuvre des locomotives	080201	Shunting locs
080202	Autorails	080202	Rail-cars
080203	Locomotives	080203	Locomotives
080204	<i>Usure des freins, roues et rails</i>	080204	<i>Railways brake, wheel and rail abrasion</i>
080205	<i>Usure des caténaires</i>	080205	<i>Trolley wire abrasion</i>
0803	Navigation fluviale	0803	Inland waterways
080301	Bateaux équipés de moteurs auxiliaires	080301	Sailing boats with auxilliary engines
080302	Bateaux à moteurs/usage professionnel	080302	Motorboats / workboats
080303	Bateaux de plaisance	080303	Personal watercraft
080304	Navigation intérieure de transport de marchandises	080304	Inland goods carrying vessels
0804	Activités maritimes	0804	Maritime activities
080402	Trafic maritime national dans la zone EMEP	080402	National sea traffic within EMEP area
080403	Pêche nationale	080403	National fishing
080404	Trafic maritime international (soutes internationales)	080404	International sea traffic (international bunkers)
0805	Trafic aérien	0805	Air traffic
080501	Trafic domestique (cycle d'atterrissage/décollage - partie du vol < 1000 m)	080501	Domestic airport traffic (LTO cycles - < 1000 m)
080502	Trafic international (cycle d'atterrissage/décollage - partie du vol < 1000 m)	080502	International airport traffic (LTO cycles - < 1000 m)
080503	Trafic domestique (croisière - partie du vol > 1000 m)	080503	Domestic cruise traffic (> 1000 m)
080504	Trafic international (croisière - partie du vol > 1000 m)	080504	International cruise traffic (> 1000 m)
080505	<i>Trafic domestique (cycle d'atterrissage/décollage - &lt; 1000 m)- Abrasion des pneus et des freins</i>	080505	<i>Domestic airport traffic (LTO cycles - &lt; 1000 m) - tyres and brakes abrasion</i>
080506	<i>Trafic international (cycle d'atterrissage/décollage - &lt; 1000 m)- Abrasion des pneus et des freins</i>	080506	<i>International airport traffic (LTO cycles - &lt; 1000 m) - tyres and brakes abrasion</i>
0806	Engins spéciaux - Agriculture	0806	Agriculture
080601	<i>Echappement moteur</i>	080601	<i>Exhaust engine</i>
080602	<i>Abrasion des freins, embrayages et pneus</i>	080602	<i>Tyre and brake wear abrasion</i>
0807	Engins spéciaux - Sylviculture	0807	Forestry
080701	<i>Echappement moteur</i>	080701	<i>Exhaust engine</i>
080702	<i>Abrasion des freins, embrayages et pneus</i>	080702	<i>Tyre and brake wear abrasion</i>

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
0808	Engins spéciaux - Industrie	0808	Industry
080801	<i>Echappement moteur</i>	080801	<i>Exhaust engine</i>
080802	<i>Abrasion des freins, embrayages et pneus</i>	080802	<i>Tyre and brake wear abrasion</i>
0809	Engins spéciaux - Loisirs / jardinage	0809	Household and gardening
080901	<i>Echappement moteur</i>	080901	<i>Exhaust engine</i>
080902	<i>Abrasion des freins, embrayages et pneus</i>	080902	<i>Tyre and brake wear abrasion</i>
0810	Autres machines	0810	Other off-road
081001	<i>Echappement moteur</i>	081001	<i>Exhaust engine</i>
081002	<i>Abrasion des freins, embrayages et pneus</i>	081002	<i>Tyre and brake wear abrasion</i>
09	Traitement et élimination des déchets	09	Waste treatment and disposal
0902	Incinération des déchets	0902	Waste incineration
090201	Incinération des déchets domestiques et municipaux	090201	Incineration of domestic or municipal wastes
090202	Incinération des déchets industriels (sauf torchères)	090202	Incineration of industrial wastes (except flaring)
090203	Torchères en raffinerie de pétrole	090203	Flaring in oil refinery
090204	Torchères dans l'industrie chimique	090204	Flaring in chemical industries
090205	Incinération des boues résiduelles du traitement des eaux	090205	Incineration of sludges from waste water treatment
090206	Torchères dans l'extraction de gaz et de pétrole	090206	Flaring in gas and oil extraction
090207	Incinération des déchets hospitaliers	090207	Incineration of hospital wastes
090208	Incinération des huiles usagées	090208	Incineration of waste oil
0904	Décharges de déchets solides	0904	Solid Waste Disposal on Land
090401	Décharges compactées	090401	Managed Waste Disposal on Land
090402	Décharges non compactées	090402	Unmanaged Waste Disposal Sites
090403	Autres	090403	Other
0907	Feux ouverts (sauf écobuage 10.03 et feux de forêt 1103xx)	0907	Open burning (except 10.03 and 1103xx)
090701	<i>Feux ouverts de déchets agricoles (hors 10.03)</i>	090701	<i>Open burning of agricultural wastes (except 10.03)</i>
090702	<i>Feux ouverts de déchets verts</i>	090702	<i>Open burning of household garden wastes</i>
090703	<i>Feux ouverts - Autres (feux de véhicules, etc.)</i>	090703	<i>Open burning - Other (vehicle burning, etc.)</i>
0909	Crémation	0909	Cremation
090901	Incinération de cadavres	090901	Incineration of corpses
090902	Incinération de carcasses animales	090902	Incineration of carcasses
0910	Autres traitements de déchets	0910	Other waste treatment
091001	Traitement des eaux usées dans l'industrie	091001	Waste water treatment in industry

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)

EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
091002	Traitement des eaux usées dans le secteur résidentiel/commercial	091002	Waste water treatment in residential/commercial sectors
091003	Epandage des boues	091003	Sludge spreading
091005	Production de compost	091005	Compost production
091006	Production de biogaz	091006	Biogas production
091007	Latrines	091007	Latrines
091008	Autres traitements des déchets	091008	Other waste treatment
10	Agriculture et sylviculture	10	Agriculture
1001	Culture avec engrais	1001	Cultures with fertilizers
100101	Cultures permanentes	100101	Permanent crops
100102	Terres arables	100102	Arable land crops
100103	Rizières	100103	Rice field
100104	Vergers	100104	Market gardening
100105	Prairies	100105	Grassland
100106	Jachères	100106	Fallows
1002	Culture sans engrais	1002	Cultures without fertilizers
100201	Cultures permanentes	100201	Permanent crops
100202	Terres arables	100202	Arable land crops
100203	Rizières	100203	Rice field
100204	Vergers	100204	Market gardening
100205	Prairies	100205	Grassland
100206	Jachères	100206	Fallows
1003	Ecobuage	1003	On-field burning of stubble, straw,...
100301	Céréales	100301	Cereals
100302	Légumes	100302	Pulse
100303	Racines et tubercules	100303	Tuber and Root
100304	Cannes à sucre	100304	Sugar Cane
100305	Autres	100305	Other
1004	Fermentation entérique	1004	Enteric fermentation
100401	Vaches laitières	100401	Dairy cows
100402	Autres bovins	100402	Other cattle
100403	Ovins	100403	Ovines
100404	Porcins à l'engraissement	100404	Fattening pigs
100405	Chevaux	100405	Horses
100406	Mules et ânes	100406	Mules and asses

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
100407	Caprins	100407	Goats
100408	Poules	100408	Laying hens
100409	Poulets	100409	Broilers
100410	Autres volailles (canards, oies, ...)	100410	Other poultry (ducks, geese, etc.)
100411	Animaux à fourrure	100411	Fur animals
100412	Truies	100412	Sows
100413	Chameaux	100413	Camels
100414	Buffles	100414	Buffalo
100415	Autres	100415	Other
1005	Composés organiques issus des déjections animales	1005	Manure management regarding organic compounds
100501	Vaches laitières	100501	Dairy cows
100502	Autres bovins	100502	Other cattle
100503	Porcins à l'engraissement	100503	Fattening pigs
100504	Truies	100504	Sows
100505	Moutons	100505	Ovines
100506	Chevaux	100506	Horses
100507	Poules	100507	Laying hens
100508	Poulets	100508	Broilers
100509	Autres volailles	100509	Other poultry (ducks, geese, etc.)
100510	Animaux à fourrure	100510	Fur animals
100511	Caprins	100511	Goats
100512	Ânes et mulets	100512	Mules and asses
100513	Chameaux	100513	Camels
100514	Buffles	100514	Buffalo
100515	Autres	100515	Other
1006	Utilisation de pesticides et de calcaire	1006	Use of pesticides and limestone
100601	Agriculture	100601	Agriculture
100602	Forêt	100602	Forestry
100603	Maraîchage	100603	Market gardening
100604	Lacs	100604	Lakes
1009	Composés azotés issus des déjections animales	1009	Manure management regarding nitrogen compounds
100901	Anaérobie	100901	Anaerobic
100902	Systèmes liquides	100902	Liquid systems
100903	Stockage solide	100903	Solid storage and dry lot

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)

EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
100904	Autres	100904	Other
11	Autres sources et puits	11	Other sources and sinks
1101	Forêts naturelles de feuillus	1101	Non-managed broadleaf forests
110104	Chênes européens	110104	European oak
110105	Chênes à feuilles sessiles	110105	Sessile oak
110106	Autres chênes feuillus	110106	Other deciduous oaks
110107	Chênes verts	110107	Holm oak
110108	Chênes lièges	110108	Cork oak
110109	Autres chênes à feuilles vertes	110109	Other evergreen oaks
110110	Hêtres	110110	Beech
110111	Bouleaux	110111	Birch
110115	Autres espèces de feuillus à larges feuilles	110115	Other deciduous broadleaf species
110116	Autres espèces de feuillus à feuilles vertes	110116	Other evergreen broadleaf species
110117	Sols (CO <sub>2</sub> exclu)	110117	Soils (excluding CO <sub>2</sub> )
1102	Forêts naturelles de conifères	1102	Non-managed coniferous forests
110204	Epicéas	110204	Norway spruce
110205	Sapinettes	110205	Sitca spruce
110206	Autres sapins	110206	Other spruce
110207	Pins	110207	Scots pine
110208	Pins maritimes	110208	Maritime pine
110209	Pins d'Alep	110209	Aleppo pine
110210	Autres pins	110210	Other pines
110211	Sapins	110211	Fir
110212	Mélèzes	110212	Larch
110215	Autres conifères	110215	Other conifers
110216	Sols (CO <sub>2</sub> exclu)	110216	Soils (excluding CO <sub>2</sub> )
1103	Feux de forêt	1103	Forest and other vegetation fires
110301	Feux dus à l'homme	110301	Man-induced
110302	Autres	110302	Other
1104	Prairies naturelles et autres végétations	1104	Natural grassland and other vegetation
110401	Prairies	110401	Grassland
110402	Toundra	110402	Tundra
110403	Autres prairies	110403	Other low vegetation
110404	Autres végétations (garrigues...)	110404	Other vegetation (Mediterranean scrub,...)

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)

EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
110405	Sols (CO <sub>2</sub> exclu)	110405	Soils (excluding CO <sub>2</sub> )
1105	Zones humides	1105	Wetlands (marshes - swamps)
110501	Marécages non drainés et saumâtres	110501	Undrained marshes
110502	Marécages drainés	110502	Drained marshes
110503	Tourbières	110503	Bogs
110504	Plaines marécageuses	110504	Fens
110505	Terrains humides	110505	Swamps
110506	Terrains inondables	110506	Floodplains
1106	Eaux	1106	Waters
110601	Lacs	110601	Lakes
110602	Marais salants ( < 6m)	110602	Shallow saltwaters ( < 6m)
110603	Eaux souterraines	110603	Ground waters
110604	Drainages	110604	Drainage waters
110605	Rivières	110605	Rivers
110606	Fossés et canaux	110606	Ditches and canals
110607	Eaux côtières ( > 6m)	110607	Coastal waters ( > 6m)
1107	Animaux	1107	Animals
110701	Termites	110701	Termites
110702	Mammifères	110702	Mammals
110703	Autres animaux	110703	Other animals
1108	Volcans	1108	Volcanoes
1109	Hydrates de gaz	1109	Gas seeps
1110	Foudre	1110	Lightning
1111	Forêts de feuillus exploitées	1111	Managed broadleaf forests
111104	Chênes européens	111104	European oak
111105	Chênes à feuilles sessiles	111105	Sessile oak
111106	Autres chênes feuillus	111106	Other deciduous oaks
111107	Chênes verts	111107	Holm oak
111108	Chênes lièges	111108	Cork oak
111109	Autres chênes à feuilles vertes	111109	Other evergreen oaks
111110	Hêtres	111110	Beech
111111	Bouleaux	111111	Birch
111115	Autres espèces de feuillus à larges feuilles	111115	Other deciduous broadleaf species
111116	Autres espèces de feuillus à feuilles vertes	111116	Other evergreen broadleaf species

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
111117	Sols (CO <sub>2</sub> exclu)	111117	Soils (excluding CO <sub>2</sub> )
1112	Forêts de conifères exploitées	1112	Managed coniferous forests
111204	Epicéas	111204	Norway spruce
111205	Sapinettes	111205	Sitca spruce
111206	Autres sapins	111206	Other spruce
111207	Pins	111207	Scots pine
111208	Pins maritimes	111208	Maritime pine
111209	Pins d'Alep	111209	Aleppo pine
111210	Autres pins	111210	Other pines
111211	Sapins	111211	Fir
111212	Mélèzes	111212	Larch
111215	Autres conifères	111215	Other conifers
111216	Sols (CO <sub>2</sub> exclu)	111216	Soils (excluding CO <sub>2</sub> )
1125	<i>UTCF : Autres / Produits Bois</i>	1125	<i>LULUCF : Other / Harvested Wood Products</i>
112500	<i>UTCF : Autres / Produits Bois</i>	112500	<i>LULUCF : Other / Harvested Wood Products</i>
1131	<i>UTCF : Forêt</i>	1131	<i>LULUCF : Forest</i>
113101	<i>Forêt restant forêt - tropical</i>	113101	<i>Forest Land remaining Forest Land - tropical</i>
113102	<i>Terre cultivée devenant forêt - tropical</i>	113102	<i>Cropland converted to Forest Land - tropical</i>
113103	<i>Prairie devenant forêt - tropical</i>	113103	<i>Grassland converted to Forest - tropical</i>
113104	<i>Terre humide devenant forêt - tropical</i>	113104	<i>Wetlands converted to Forest - tropical</i>
113105	<i>Zone urbanisée devenant forêt - tropical</i>	113105	<i>Settlements converted to Forest - tropical</i>
113106	<i>Autre terre devenant forêt - tropical</i>	113106	<i>Other Land converted to Forest - tropical</i>
113111	<i>Forêt restant forêt - tempéré</i>	113111	<i>Forest remaining Forest - temperate</i>
113112	<i>Terre cultivée devenant forêt - tempéré</i>	113112	<i>Cropland converted to Forest Land - temperate</i>
113113	<i>Prairie devenant forêt - tempéré</i>	113113	<i>Grassland converted to Forest - temperate</i>
113114	<i>Terre humide devenant forêt - tempéré</i>	113114	<i>Wetlands converted to Forest - temperate</i>
113115	<i>Zone urbanisée devenant forêt - tempéré</i>	113115	<i>Settlements converted to Forest - temperate</i>
113116	<i>Autre terre devenant forêt - tempéré</i>	113116	<i>Other Land converted to Forest - temperate</i>
1132	<i>UTCF : Terre cultivée</i>	1132	<i>LULUCF : Cropland</i>
113201	<i>Terre cultivée restant Terre cultivée - tropical</i>	113201	<i>Cropland remaining Cropland - tropical</i>
113202	<i>Forêt devenant Terre cultivée - tropical</i>	113202	<i>Forest converted to Cropland - tropical</i>
113203	<i>Prairie devenant Terre cultivée - tropical</i>	113203	<i>Grassland converted to Cropland - tropical</i>
113204	<i>Terre humide devenant Terre cultivée - tropical</i>	113204	<i>Wetlands converted to Cropland - tropical</i>
113205	<i>Zone urbanisée devenant Terre cultivée - tropical</i>	113205	<i>Settlements converted to Cropland - tropical</i>

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
113206	<i>Autre terre devenant Terre cultivée - tropical</i>	113206	<i>Other Land converted to Cropland - tropical</i>
113211	<i>Terre cultivée restant Terre cultivée - tempéré</i>	113211	<i>Cropland remaining Cropland - temperate</i>
113212	<i>Forêt devenant Terre cultivée - tempéré</i>	113212	<i>Forest converted to Cropland - temperate</i>
113213	<i>Prairie devenant Terre cultivée - tempéré</i>	113213	<i>Grassland converted to Cropland - temperate</i>
113214	<i>Terre humide devenant Terre cultivée - tempéré</i>	113214	<i>Wetlands converted to Cropland - temperate</i>
113215	<i>Zone urbanisée devenant Terre cultivée - tempéré</i>	113215	<i>Settlements converted to Cropland - temperate</i>
113216	<i>Autre terre devenant Terre cultivée - tempéré</i>	113216	<i>Other Land converted to Cropland - temperate</i>
1133	<i>UTCF : Prairie</i>	1133	<i>LULUCF : Grassland</i>
113301	<i>Prairie restant Prairie - tropical</i>	113301	<i>Grassland remaining Grassland - tropical</i>
113302	<i>Forêt devenant Prairie - tropical</i>	113302	<i>Forest converted to Grassland - tropical</i>
113303	<i>Terre cultivée devenant Prairie - tropical</i>	113303	<i>Cropland converted to Grassland - tropical</i>
113304	<i>Terre humide devenant Prairie - tropical</i>	113304	<i>Wetlands converted to Grassland - tropical</i>
113305	<i>Zone urbanisée devenant Prairie - tropical</i>	113305	<i>Settlements converted to Grassland - tropical</i>
113306	<i>Autre terre devenant Prairie - tropical</i>	113306	<i>Other Land converted to Grassland - tropical</i>
113311	<i>Prairie restant Prairie - tempéré</i>	113311	<i>Grassland remaining Grassland - temperate</i>
113312	<i>Forêt devenant Prairie - tempéré</i>	113312	<i>Forest converted to Grassland - temperate</i>
113313	<i>Terre cultivée devenant Prairie - tempéré</i>	113313	<i>Cropland converted to Grassland - temperate</i>
113314	<i>Terre humide devenant Prairie - tempéré</i>	113314	<i>Wetlands converted to Grassland - temperate</i>
113315	<i>Zone urbanisée devenant Prairie - tempéré</i>	113315	<i>Settlements converted to Grassland - temperate</i>
113316	<i>Autre terre devenant Prairie - tempéré</i>	113316	<i>Other Land converted to Grassland - temperate</i>
1134	<i>UTCF : Terre humide</i>	1134	<i>LULUCF : Wetlands</i>
113401	<i>Terre humide restant Terre humide - tropical</i>	113401	<i>Wetlands remaining Wetlands - tropical</i>
113402	<i>Forêt devenant Terre humide - tropical</i>	113402	<i>Forest converted to Wetlands - tropical</i>
113403	<i>Terre cultivée devenant Terre humide - tropical</i>	113403	<i>Cropland converted to Wetlands - tropical</i>
113404	<i>Prairie devenant Terre humide - tropical</i>	113404	<i>Grassland converted to Wetlands - tropical</i>
113405	<i>Zone urbanisée devenant Terre humide - tropical</i>	113405	<i>Settlements converted to Wetlands - tropical</i>
113406	<i>Autre terre devenant Terre humide - tropical</i>	113406	<i>Other Land converted to Wetlands - tropical</i>
113411	<i>Terre humide restant Terre humide - tempéré</i>	113411	<i>Wetlands remaining Wetlands - temperate</i>
113412	<i>Forêt devenant Terre humide - tempéré</i>	113412	<i>Forest converted to Wetlands - temperate</i>
113413	<i>Terre cultivée devenant Terre humide - tempéré</i>	113413	<i>Cropland converted to Wetlands - temperate</i>
113414	<i>Prairie devenant Terre humide - tempéré</i>	113414	<i>Grassland converted to Wetlands - temperate</i>
113415	<i>Zone urbanisée devenant Terre humide - tempéré</i>	113415	<i>Settlements converted to Wetlands - temperate</i>
113416	<i>Autre terre devenant Terre humide - tempéré</i>	113416	<i>Other Land converted to Wetlands - temperate</i>
1135	<i>UTCF : Zone urbanisée</i>	1135	<i>LULUCF : Settlements</i>
113501	<i>Zone urbanisée restant Zone urbanisée - tropical</i>	113501	<i>Settlements remaining Settlements - tropical</i>

AEE / CTE - SNAP 97 version 1.0 (1998) adaptée par le CITEPA  
(version de décembre 2013)

EEA / ETC - SNAP 97 version 1.0 (1998) adapted by CITEPA  
(version of December 2013)

SNAP	ACTIVITE EMETTRICE	SNAP	EMITTING ACTIVITY
113502	<i>Forêt devenant Zone urbanisée - tropical</i>	113502	<i>Forest converted to Settlements - tropical</i>
113503	<i>Terre cultivée devenant Zone urbanisée - tropical</i>	113503	<i>Cropland converted to Settlements - tropical</i>
113504	<i>Prairie devenant Zone urbanisée - tropical</i>	113504	<i>Grassland converted to Settlements - tropical</i>
113505	<i>Terre humide devenant Zone urbanisée - tropical</i>	113505	<i>Wetlands converted to Settlements - tropical</i>
113506	<i>Autre terre devenant Zone urbanisée - tropical</i>	113506	<i>Other Land converted to Settlements - tropical</i>
113511	<i>Zone urbanisée restant Zone urbanisée - tempéré</i>	113511	<i>Settlements remaining Settlements - temperate</i>
113512	<i>Forêt devenant Zone urbanisée - tempéré</i>	113512	<i>Forest converted to Settlements - temperate</i>
113513	<i>Terre cultivée devenant Zone urbanisée - tempéré</i>	113513	<i>Cropland converted to Settlements - temperate</i>
113514	<i>Prairie devenant Zone urbanisée - tempéré</i>	113514	<i>Grassland converted to Settlements - temperate</i>
113515	<i>Terre humide devenant Zone urbanisée - tempéré</i>	113515	<i>Wetlands converted to Settlements - temperate</i>
113516	<i>Autre terre devenant Zone urbanisée - tempéré</i>	113516	<i>Other Land converted to Settlements - temperate</i>
1136	UTCF : Autre terre	1136	LULUCF : Other Land
113601	<i>Autre terre restant Autre terre - tropical</i>	113601	<i>Other Land remaining Other Land - tropical</i>
113602	<i>Forêt devenant Autre terre - tropical</i>	113602	<i>Forest converted to Other Land - tropical</i>
113603	<i>Terre cultivée devenant Autre terre - tropical</i>	113603	<i>Cropland converted to Other Land - tropical</i>
113604	<i>Prairie devenant Autre terre - tropical</i>	113604	<i>Grassland converted to Other Land - tropical</i>
113605	<i>Terre humide devenant Autre terre - tropical</i>	113605	<i>Wetlands converted to Other Land - tropical</i>
113606	<i>Zone urbanisée devenant Autre terre - tropical</i>	113606	<i>Settlements converted to Other Land - tropical</i>
113611	<i>Autre terre restant Autre terre - tempéré</i>	113611	<i>Other Land remaining Other Land - temperate</i>
113612	<i>Forêt devenant Autre terre - tempéré</i>	113612	<i>Forest converted to Other Land - temperate</i>
113613	<i>Terre cultivée devenant Autre terre - tempéré</i>	113613	<i>Cropland converted to Other Land - temperate</i>
113614	<i>Prairie devenant Autre terre - tempéré</i>	113614	<i>Grassland converted to Other Land - temperate</i>
113615	<i>Terre humide devenant Autre terre - tempéré</i>	113615	<i>Wetlands converted to Other Land - temperate</i>
113616	<i>Zone urbanisée devenant Autre terre - tempéré</i>	113616	<i>Settlements converted to Other Land - temperate</i>
Notes :		Notes :	
1)	<i>Les lignes en italique correspondent à des ajouts par rapport à la version originale de la SNAP97</i>	1)	<i>Lines in italics relate to additional lines compared to the initial SNAP97 version.</i>
2)	<i>Les codes SNAP 1121xx à 1125 ont été supprimés et remplacés par les codes 113xxx du fait des dernières lignes directrices du GIEC et des dernières tables CRF pour l'UTCF (cf. IPCC Good Practice Guidance for LULUCF, 2003)</i>	2)	<i>SNAP codes 1121xx to 1125 were removed and replaced by codes 113xxx because of the last IPCC guidelines and CRF reporting format for LULUCF (cf. IPCC Good Practice Guidance for LULUCF, 2003)</i>

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
13/02/24	AD	16/02/2024	JPC

## ANNEXE 2 : NOMENCLATURE DE COMBUSTIBLES NAPFUE

NAPFUE 94c (NAPFUE 94 [17] étendue par le CITEPA)

Code NAPFUE c	Désignation
101	Charbon à coke
102	Charbon vapeur
103	Charbon sous-bitumineux
104	Aggloméré de houille
105	Lignite
106	Briquette de lignite
107	Coke de houille
108	Coke de lignite
109	Coke de gaz
110	Coke de pétrole
111	Bois et assimilé
112	Charbon de bois
113	Tourbe
114	Ordures ménagères
115	Déchets industriels solides
116	Déchets de bois
117A	Farines animales

Code NAPFUE c	Désignation
1170	Autres déchets agricoles solides
118	Boues d'épuration
119	Combustibles dérivés de déchets
120	Schistes bitumineux
121A	Pneumatiques
121B	Plastiques
1210	Autres combustibles solides
201	Pétrole brut
203	Fioul lourd (tous types)
204	Fioul domestique
205	Gazole
206	Kérosène
207	Carburacteur
208	Essence auto
209	Essence aviation
210	Naphta
211	Huile de schiste bitumineux
212	Huile de moteur à essence
213	Huile de moteur diesel
214A	Autres solvants usagés / type G3000
2140	Autres solvants usagés (autres que type G3000)
215	Liqueur noire
216	Mélange fioul / charbon

Code NAPFUE c	Désignation
217	Produit d'alimentation des raffineries
218	Autres déchets liquides
219	Autres lubrifiants
220	White spirit
221	Cires et paraffines
222	Bitumes
223	Bio alcool
224	Autres produits pétroliers (graisses, ...)
225	Autres combustibles liquides
25B	Biocarburant gazole
26B	Biocarburant kérosène
28B	Biocarburant essence
29B	Autres combustibles liquides biomasse
301	Gaz naturel type H (Lacq) / B (Groningue)
302	Gaz naturel liquéfié
303	Gaz de pétrole liquéfié
304	Gaz de cokerie
305	Gaz de haut fourneau
306	Mélange de gaz sidérurgiques
307	Gaz industriel
308	Gaz de raffinerie / pétrochimie
309	Biogaz (55% CH <sub>4</sub> )
310	Gaz de décharge
311	Gaz d'usine à gaz

---

Code NAPFUE c	Désignation
312	Gaz d'aciérie
313	Hydrogène
314	Autres combustibles gazeux
31B	Biométhane

---

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
08/03/2023	AD	08/03/2023	JPC

## ANNEXE 3 : CORRESPONDANCES ENTRE LES NOMENCLATURES CRF / NFR ET SNAP

Cette correspondance peut évoluer au cours du temps, celle-ci est consultable et disponible dans la base de données OMINEA : <https://www.citepa.org/fr/omine/>

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
01/02/2023	AD	14/02/2023	JPC

## ANNEXE 4 : CATEGORIES DU PLAN CLIMAT

Catégories de sources considérées dans le Plan Climat (nouveau format basé sur le format SECTEN (<https://www.citepa.org/fr/secten/>))

Secteurs
Industrie de l'énergie
Production d'électricité
Chauffage urbain
Raffinage du pétrole
Transformation des combustibles minéraux solides
Extraction et distribution de combustibles solides
Extraction et distribution de combustibles liquides
Extraction et distribution de combustibles gazeux
Fabrication de charbon de bois par pyrolyse
Valorisation énergétique des déchets
Industrie manufacturière et construction (a)
Chimie
Construction
Biens d'équipements, matériels de transport
Agro-alimentaire
Métallurgie des métaux ferreux
Métallurgie des métaux non-ferreux
Minéraux non-métalliques, matériaux de construction
Papier, carton
Autres industries manufacturières
Traitement centralisé des déchets
Stockage des déchets
Incinération sans récupération d'énergie
Autres traitements des déchets solides
Traitement des eaux usées

---

 Secteurs
 

---

 Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires
 

---

 Usage des bâtiments résidentiels et activités domestiques (b)
 

---

 Usage des bâtiments tertiaires et activités tertiaires (c)
 

---

 Agriculture / sylviculture hors UTCATF (d)
 

---

Culture

Elevage

 Engins, moteurs et chaudières en agriculture/sylviculture
 

---

 Transports
 

---

VP

VUL

PL de marchandises

Bus et cars de voyageurs

Deux roues

Transport ferroviaire

Transport fluvial de marchandises français (f)

Transport maritime domestique (f)

Transport autres navigations (e)

 Transport aérien français (f)
 

---

 UTCATF (d)
 

---

Forêts

Terres cultivées

Prairies

Zones artificielles

Zones humides

Autres terres

Produits bois

 Barrages
 

---

(a) Y compris traitement in situ des déchets et des eaux usées

(b) Emissions liées aux activités domestiques, notamment dans les bâtiments d'habitation (i.e. : combustion des appareils de chauffage, feux ouverts, engins mobiles non routiers pour le loisir/jardinage, utilisation domestique de solvants, réfrigération et air conditionné, consommation de tabac, traitement autonome des eaux usées, etc.)

(c) Emissions liées aux activités et bâtiments des entreprises, commerces, institutions et services publics (i.e. : combustion des appareils de chauffage, utilisation de solvants, réfrigération et air conditionné, bombes aérosols, utilisation de feux d'artifices, etc.)

(d) Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie

(e) Emissions liées aux bateaux à passagers fluviaux, bateaux à usage professionnel fluviaux et maritimes (hors transport et pêche), bateaux de plaisance (activités de loisirs) fluviaux et maritimes

(f) selon définitions de la CCNUCC - les émissions répertoriées sous total national concernent les émissions entre 2 ports ou aéroports du territoire national

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
14/01/2020	AD/CR	17/02/2020	JPC

## ANNEXE 5 : TERRITOIRES CONSTITUTIFS DE LA FRANCE - NOMENCLATURES DES UNITES TERRITORIALES STATISTIQUES ET ADMINISTRATIVES

La France étend sa souveraineté sur un ensemble de territoires géographiquement dispersés tout autour du globe. Ces territoires présentent des différences importantes quant à leurs caractéristiques : statutaire, démographique, géophysique, climatique, floristique, faunistique, économique, etc.

Ils présentent également des différences notamment vis-à-vis de leur prise en compte relativement aux émissions de polluants dans l'atmosphère.

### Références utilisées :

[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](http://www.ecologie.gouv.fr) rubrique « biodiversités et paysages »), 2007

[389] TAAF - [www.taaf.fr](http://www.taaf.fr), 2009

[390] JOST C. - [www.clipperton.fr](http://www.clipperton.fr)

[609] IGN - GEOFLA

[610] INSEE ([www.insee.fr](http://www.insee.fr))

[611] IEDOM/IEOM ([www.iedom.fr](http://www.iedom.fr) / [www.ieom.fr](http://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

[913] INSEE, Code officiel géographique au 1<sup>er</sup> 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>)

[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>)

### Géographie et cadre institutionnel :

Les principaux sous-ensembles sont définis comme suit au jour de la mise à jour de ce rapport [610, 611]:

- la Métropole, constituée par les territoires situés sur le continent européen (Corse incluse).

- l'Outre-mer, constitué des divers territoires disséminés hors du continent européen :
  - Les départements et régions d'Outre-mer (DROM) rassemblant la *Guadeloupe* et la *Martinique* situées dans les Antilles, la *Guyane* (dite française) en Amérique du Sud, l'île de la *Réunion* et *Mayotte* (depuis le 4 avril 2011) dans l'océan Indien. Leur statut est identique à celui de la Métropole (cf. article 73 de la Constitution),
  - Les collectivités d'Outre-mer (COM) sont des territoires à statuts divers régies par les articles 73 et 74 de la Constitution. Elles englobent un ensemble de territoires très variés et disséminés :
    - la *Polynésie Française*, *Wallis et Futuna*, dans l'océan Pacifique,
    - *Saint-Pierre-et-Miquelon*, *Saint-Barthélemy* et *Saint-Martin* (partie française) dans l'océan Atlantique,
    - La *Nouvelle-Calédonie* dans l'océan Pacifique qui est régie spécifiquement par la Constitution (cf. articles 76 et 77) et constitue une collectivité « sui generis » n'est donc pas une COM. La Nouvelle-Calédonie dispose depuis 1998 d'un statut particulier lui conférant une grande autonomie.
    - Les *Terres Australes et Antarctiques Françaises* (TAAF) dans l'océan Indien et sur le continent Antarctique (cf. article 72-3 de la Constitution).
    - L'île de *Clipperton* dans l'océan Pacifique, propriété domaniale privée de l'Etat, administrée directement par lui.

Le statut des territoires situés outre-mer évolue au cours du temps comme l'illustrent la Loi constitutionnelle du 28 mars 2003 relative à l'organisation décentralisée de la République et la Loi 2007-224 du 21 février 2007 portant sur des dispositions statutaires et institutionnelles qui configurent le statut actuel des divers territoires constitutifs de l'Outre-mer.

La notion de Territoires d'Outre-Mer (TOM) créée après la Seconde Guerre mondiale est remplacée en partie par celui de Collectivités Territoriales d'Outre-Mer (COM). Un nouvel article à la Constitution reconnaît le droit d'autodétermination interne aux populations des DOM et des COM.

Les îles de Saint-Barthélemy et de Saint-Martin rattachées précédemment à la Guadeloupe sont passées en 2007 du statut de DOM à celui de COM.



Seuls certains de ces territoires français d'outre-mer se trouvent donc inclus dans l'Union européenne et constituent des régions dites « ultrapériphériques » (RUP).

La France comme d'autres Etats-membres<sup>26</sup> comporte donc des territoires situés Outre-mer et n'appartenant pas à l'Union européenne (PTOM - « pays et territoires d'Outre-mer ») ; ils ont généralement des liens d'association particuliers avec l'UE. Ils figurent nommément dans l'annexe II de la Partie IV du Traité établissant une constitution pour l'Europe. Le recouplement est le suivant :

Territoire	Statut « français »	Statut « UE » [612]
Guadeloupe	DOM	Incluse
Guyane	DOM	Incluse
Martinique	DOM	Incluse
Mayotte <sup>(a)</sup>	DOM (depuis 04/2011 – ex-COM)	Incluse (depuis 01/01/2014)
Nouvelle-Calédonie	Statut spécifique	Exclue
Polynésie française	COM	Exclue
La Réunion	DOM	Incluse
Saint-Barthélemy	COM (depuis mi-2007)	Exclue (depuis 01/01/2012)
Saint-Martin	COM (depuis mi-2007)	Incluse
Saint-Pierre-et-Miquelon	COM	Exclue
TAAF et Clipperton <sup>(b)</sup>	Statuts spécifiques	Exclues
Wallis-et-Futuna	COM	Exclue

(a) Mayotte est incluse dans l'UE depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2014 suite à la décision du Conseil européen publiée au journal officiel le 31 juillet 2012 (2012/419/UE - L204/131).

(b) l'île de Clipperton n'est pas citée dans l'annexe du Traité, elle n'appartient donc pas à l'UE (cas similaire à celui des îles anglo-normandes pour le Royaume-Uni).

<sup>26</sup> De même, Le Danemark, les Pays-Bas et le Royaume-Uni disposent de territoires disséminés non inclus dans l'Union européenne

## Zone Economique Exclusive (ZEE)

Cette notion est juridiquement établie par la Convention des Nations unies sur le droit de la mer (Convention dite de Montego Bay signée en décembre 1982).

La ZEE ne s'étend pas au-delà de 200 miles marins des lignes de base à partir desquelles est mesurée la largeur de la mer territoriale. Dans cette zone, l'Etat côtier a des droits souverains d'exploration et d'exploitation ainsi que la responsabilité de la protection et la préservation du milieu marin.

Les Etats sont libres de définir ou non des ZEE dans les limites définies. Lorsque les revendications de deux Etats se superposent, la limite est fixée d'un commun accord. Tous les Etats ne revendiquent pas de ZEE partout où ce serait possible (exemple en Méditerranée, très peu de ZEE ont été créées).

La France est le second pays par ordre d'importance de ZEE (11 millions de km<sup>2</sup>, soit 20 fois le territoire métropolitain) derrière les Etats-Unis (11,351) mais loin devant l'Australie (8,148), la Russie (7,567), le Canada (5,599), le Japon (4,479), la Nouvelle-Zélande (4,084), le Royaume-Uni (3,974), le Brésil (3,661).

Les multiples possessions de la France disséminées dans les différents océans expliquent l'importante étendue de la ZEE.

### Caractéristiques de la catégorie (communes au NIR et à l'IIR) :

Les différents sous-ensembles sont importants à considérer au regard de la question des inventaires d'émission et du périmètre géographique considéré dans les conventions, protocoles et autres dispositions pour lesquels la France a souscrit des engagements relatifs aux émissions de polluants dans l'atmosphère.



Ainsi, l'Union européenne (UE) englobe la Métropole et les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE. Certaines directives européennes (par exemple, la directive sur les plafonds d'émission nationaux) ne s'appliquent pas à certains territoires faisant partie de l'Union européenne comme les DOM (Guadeloupe, Guyane, Martinique et La Réunion).



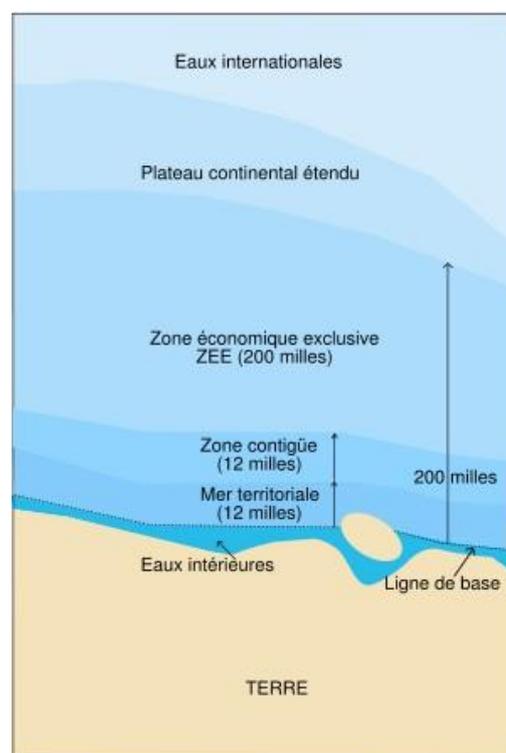
La convention des Nations-unies sur la pollution atmosphérique transfrontalière (CEE-NU) et les protocoles associés (EMEP, Göteborg, etc.) intéressent seulement la Métropole.



La convention cadre des Nations-unies sur les changements climatiques (CCNUCC) prend en compte la France dans son acceptation la plus large (Métropole + Outre-mer y compris les territoires hors UE), tandis que pour le protocole de Kyoto, le périmètre est réduit à la Métropole et aux territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE.

Les TAAF et l'île de Clipperton étant quasi exempts de toute activité humaine hormis quelques bases scientifiques ou passages sporadiques sont négligées au regard des émissions engendrées pour autant que ces territoires devraient en principe être pris en compte dans certains périmètres.

Lorsque cela s'avère nécessaire, les rapports d'inventaires d'émissions font donc mention des identifiants suivants ou de termes similaires :



- France (Métropole) : concerne les émissions de la France limitée au territoire de la métropole y compris la Corse,
- France (Métropole et territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE) : concerne les émissions de la France au périmètre de l'Union européenne,
- France (Métropole et Outre-mer) : concerne les émissions de la France au sens le plus large, c'est-à-dire en incluant tous les territoires situés outre-mer même ceux n'entrant pas dans le périmètre de l'Union européenne.

### Caractéristiques des territoires français :

#### La Métropole [609, 610]

La Métropole est la partie du territoire français située sur le continent européen y compris la Corse. C'est également le berceau de la nation française.

Le territoire est subdivisé en :

- 13 régions (dont la Corse) depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2016 (22 avant), cf. carte ci-dessous. Les noms de ces régions, en vigueur depuis 2016, sont encore provisoires.
- 96 départements (cf. carte ci-dessous).

Les départements sont eux-mêmes subdivisés en arrondissements (environ 430) disposant chacun d'un chef-lieu abritant une sous-préfecture et en communes (environ 36 000). D'autres subdivisions territoriales existent dans certains cadres de gestion, d'élection et d'aménagement du territoire (pays, canton, SCOT, etc.).

Les coordonnées des points extrêmes sont environ :

- au nord, 51° 04' Nord et 2° 31' Est (Nord),
- au sud, 41° 19' Nord et 9° 15' Est (Corse),
- à l'ouest, 48° 27' Nord et 5° 08' Ouest (Finistère),
- à l'est, 42° 07' Nord et 9° 31' Est.

La Métropole s'étend sur environ 548 500 km<sup>2</sup>, soit 83% de la superficie totale de la France (~ 660 200 km<sup>2</sup> hors Terre-Adélie). Le territoire comporte des grandes plaines et des massifs montagneux.

Le climat de la métropole est globalement tempéré mais différencié selon les régions (océanique, continental, montagneux, méditerranéen).

Sa situation géographique au centre des principaux flux commerciaux d'Europe occidentale constitue un atout important. Grand pays agricole, la France métropolitaine dispose aussi d'une industrie dominée par la mécanique, l'électricité et l'électronique avec des secteurs en pointe comme l'aéronautique, les télécommunications, etc.). Cependant, le secteur des services et du tertiaire domine largement (près des trois quarts de la population active) avec un poids très fort de la grande distribution.

Les secteurs historiquement les plus performants à l'exportation sont : l'agro-alimentaire, l'automobile et les biens d'équipement.

La France est également caractérisée par la filière nucléaire largement développée (environ 5 douzaines de réacteurs, soit le second parc mondial après les Etats-Unis et le premier rang quant à la part du nucléaire dans la production d'électricité).



réal. Citepa.

Les Départements d'Outre-mer (DOM) [307, 611]

Les départements d'outre-mer sont actuellement au nombre de cinq :

- les îles de la Guadeloupe et de la Martinique dans les Antilles,
- la Guyane française sur le continent sud-américain,
- les îles de La Réunion et de Mayotte (depuis 2011) dans l'océan Indien.

Ces départements d'Outre-mer font partie de l'Union européenne (Mayotte depuis 2014 seulement).

## Guadeloupe



La Guadeloupe est un archipel, français depuis 1674, situé dans les Antilles dans l'océan Atlantique (16° 20' Nord, 61° 30' Ouest) à 950 km au Sud-est des Etats-Unis, 600 km au nord de l'Amérique du Sud et à 7 000 km de la métropole.

Elle est constituée de deux îles principales (Basse Terre et Grande Terre) raccordées par une étroite bande de terre ainsi que de plusieurs îles (Marie Galante, Les Saintes qui sont en fait un ensemble de 9 îlets dont 2 habités et Petite terre)<sup>27</sup>.

L'économie est fragile et se développe autour de l'agriculture (canne à sucre, banane, melon) et des industries agro-alimentaires (sucreries, rhumeries, conserveries). On y recense une cimenterie et plusieurs centrales thermiques. Le tourisme est le principal atout économique sans oublier les subventions de la métropole.

Le chef-lieu, Pointe à Pitre et son agglomération, regroupe 40% de la population.

La Guadeloupe bénéficie d'un climat de type tropical maritime. L'anticyclone des Açores dirige vers les îles un vent d'Est plus connu sous le nom d'Alizé. La température de la mer des Caraïbes, ainsi que celle de l'océan Atlantique est d'environ 27°C. La température de l'air est à 27°C en moyenne et peut monter jusqu'à 32°C.

Les îles de Saint-Barthélemy et de Saint-Martin (partie française) y étaient rattachées jusqu'au milieu de l'année 2007, date de changement de statut de ces territoires (voir la section relative aux COM).

## Martinique

Île des Antilles dans l'océan Atlantique (14° 40' Nord, 64° 12' Ouest) à 150 km au sud de la Guadeloupe, française depuis 1635, la Martinique a un climat tropical présentant des différences marquées entre le Nord (humide, végétation luxuriante, relief important), l'Est (venteux et humide du fait des alizés) et l'Ouest (sec). La température moyenne est de 26°C (12 à 37°C).

Relativement riche pour cette partie du monde, l'économie est basée sur l'exportation des bananes, du rhum, de l'ananas ainsi que sur le tourisme, sans oublier les subventions de la Métropole et de l'Europe du fait de son statut de territoire ultrapériphérique<sup>28</sup> comme les autres DOM. Au plan industriel on y recense des centrales thermiques et une raffinerie.

Le chef-lieu, Fort de France, regroupe le quart de la population. La densité de population est élevée ainsi que la croissance démographique.



<sup>27</sup> Basse-Terre 848 km<sup>2</sup>, Grande-Terre 590 km<sup>2</sup>, La Désirade 22 km<sup>2</sup>, Marie-Galante 158 km<sup>2</sup>, Les Saintes 14 km<sup>2</sup>

<sup>28</sup> Il y a 7 régions ultrapériphériques en Europe : outre les cinq DOM de la France, les îles Canaries (Espagne), Madère et les Açores (Portugal)



## Guyane



Située sur le continent Sud-américain (entre 2 à 5° Nord et 51 à 54° Ouest), la Guyane dont le chef-lieu est Cayenne est le plus grand département français. Couverte à plus de 96% par une forêt équatoriale primaire à grande biodiversité et peu fragmentée. Seule la bande côtière est facilement accessible. Le climat est tropical (températures de 22 à 36°C, humidité relative > 80%).

Plus de 40 nationalités s'y côtoient dont six ethnies amérindiennes. La Guyane attire des milliers de clandestins à la recherche de l'or et de ce territoire dont le niveau de vie est relativement beaucoup plus élevé comparé aux autres qui l'entourent.

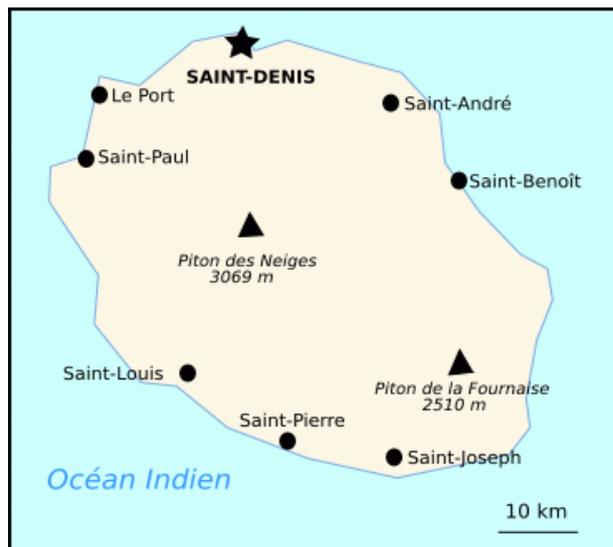
Colonie française depuis le début du XVII<sup>ème</sup> siècle avec diverses vicissitudes, la découverte de gisements aurifères remonte à 1815.

L'économie dépend du soutien de la Métropole et de l'industrie spatiale (depuis 1989 et développement de la base de Kourou d'où sont lancées les fusées Ariane) ainsi que de l'industrie du bois, de la pêche aux crevettes (près d'un quart des exportations), de l'agriculture (agrumes, manioc, riz, canne à sucre, fleurs), des industries métallurgiques et agroalimentaires.

## La Réunion

De formation volcanique située dans l'océan Indien à environ 700 km à l'est de Madagascar dans l'archipel des Mascareignes (environ 21° Sud, 55° 28' Est), l'île de La Réunion comporte deux volcans dont le plus récent le Piton de la Fournaise est l'un des plus actifs de la planète. Le climat est du type tropical tempéré, les températures vont de 20 à 30°C, de fortes précipitations sont observées au Nord et à l'Est, tandis que le climat est plus sec au Sud et à l'Ouest. Des cyclones y sont parfois dévastateurs (vents > 200 km/h et pluies diluviennes).

L'île n'a pas été habitée avant le milieu du XVII<sup>ème</sup> siècle mais connaît de nos jours une forte évolution démographique. La croissance économique s'appuie principalement sur le tourisme, la production et la transformation de canne à sucre et sur la pêche (secteur en émergence).



## Mayotte



Mayotte est un ensemble d'îles et îlots de l'archipel des Comores situé dans le canal du Mozambique (12° 48' Sud, 45° 12' Est)<sup>29</sup>. Française depuis 1841, la population s'est prononcée en 1975 en faveur du maintien au sein de la République française contrairement à celles des autres îles de l'archipel des Comores. Le référendum du 29 mars 2009 conduit au nouveau statut de DOM depuis le 4 avril 2011, Mayotte est donc le 5<sup>ème</sup> département d'Outre-mer. Pour autant, Mayotte n'entre dans le périmètre de l'UE qu'à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2014 suite à la décision du Conseil européen publiée au Journal officiel le 31 juillet 2012 (2012/419/UE - L204/131).

Collectivité territoriale bénéficiant de statuts juridiques particuliers, elle est constituée en 17 communes administratives. Son chef-lieu est Mamoudzou et sa monnaie est l'euro.

Un lagon de plus de 1 100 km<sup>2</sup> (l'un des plus grands du monde) entoure Mayotte. Le climat est de type tropical maritime (températures entre 23 et 30°C).

L'activité économique est limitée (agriculture d'auto subsistance, culture de la banane, du manioc, de l'ylang-ylang, de la vanille, du girofle). Le tourisme est peu développé (faible capacité hôtelière, liaison avec escales) avec cependant un espoir d'évolution.

### Les Collectivités d'Outre-mer (COM) [611]

Les collectivités d'outre-mer comprennent à ce jour plusieurs entités physiques situées :

- Dans l'océan Pacifique : Polynésie Française, Wallis et Futuna,
- Dans l'océan Atlantique : Saint-Pierre et Miquelon, Saint-Barthélemy et Saint-Martin.

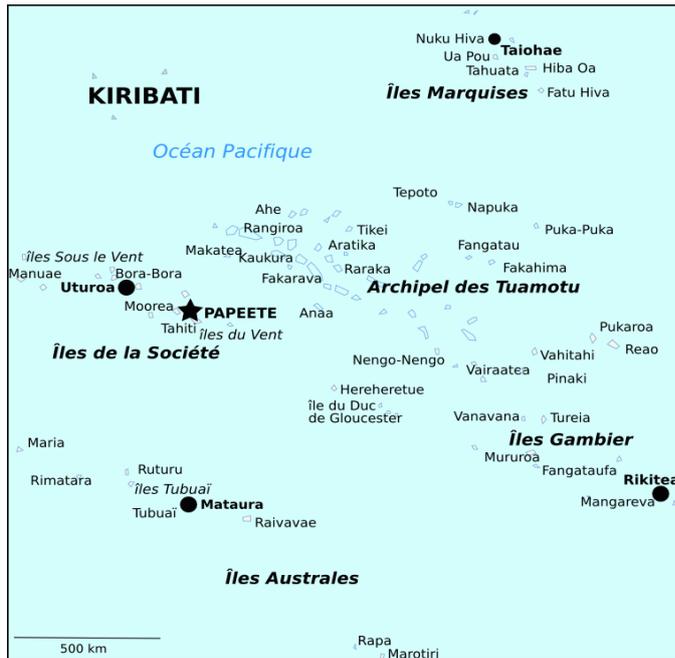
Autrefois désignés par le terme « Territoire d'Outre-mer (TOM) », la plupart de ces territoires ne font pas partie de l'Union européenne à l'exception Saint-Martin qui, précédemment rattaché à la Guadeloupe, avait le statut de DOM jusqu'en 2007. Quant à Saint-Barthélemy, également précédemment rattaché à la Guadeloupe jusqu'en 2007 avec le statut de DOM, ne fait pas partie de l'Union européenne.

### Polynésie française

Vaste ensemble d'îles disséminées sur 5 millions de km<sup>2</sup>, soit l'équivalent de l'Europe, constitué de plusieurs groupes d'îles issus de l'activité volcanique :

- Archipel de la Société avec Bora-Bora, Maupiti, Moorea, Tahiti, etc. (1 600 km<sup>2</sup>),
- Iles Australes avec Marotiri, Raivavae, Rapa, Rurutu, Tubuai, etc. (150 km<sup>2</sup>),
- Iles Marquises avec Eiao, Hatutaa, Hiba Oa, Nuku Hiva, Ua Pou, etc. (1 040 km<sup>2</sup>),
- Archipel des Tuamotu avec Amanu, Anaa, Fakarava, Hao, Katiu, Manihi, Rangiroa, Tikehau, etc. (690 km<sup>2</sup>),

<sup>29</sup> Grande-Terre 365 km<sup>2</sup> et Petite-Terre 10 km<sup>2</sup>



➤ Îles Gambier avec Fangataufa, Mangaréva, Mururoa, etc. (40 km<sup>2</sup>).

La Polynésie française bénéficie d'une autonomie interne et constitue un pays d'outre-mer (POM) avec le statut de COM au sein de la République.

La capitale est Papeete sur l'île de Tahiti et la monnaie est le Franc CFP (acronyme de Comptoirs Français du Pacifique) ou XPF qui a une parité fixe avec le franc et maintenant l'euro (1 euro = environ 119 CFP). L'économie moyennement développée est dépendante du tourisme et des dotations financières. La culture des perles pour la bijouterie est également très développée. S'y ajoutent la pêche, le coprah, la vanille, etc.

### Saint-Barthélemy



Canton détaché en 2007 de la Guadeloupe pour constituer une Collectivité Territoriale, Saint-Barthélemy se situe à environ 230 km au Sud (17° 5' Nord, 62° 5' Ouest) de cette île des Antilles. Elle présente un profil très montagneux, est entourée de nombreux petits îlets et concentre une population de colons normands et bretons. La principale activité économique est le tourisme de luxe. La monnaie est l'euro.

Ce territoire bénéficie d'exonération fiscale qui remonte à l'époque où elle était administrée par la Suède (d'où le nom du chef-lieu Gustavia) avant que cette dernière ne la revende à la France en 1878.

C'est par référendum en 2003 que la population a entériné le changement de statut. Elle devient PTOM à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2012 (décision du 27 octobre 2010 du Conseil européen) et ne fait pas partie intégrante de l'Union européenne [1020].

### Saint-Martin



Située dans les Antilles (18° 05' Nord, 63° 05' Ouest) à environ 250 km au nord de la Guadeloupe, l'île est partagée entre les Pays-Bas (au sud, 42%) et la France (au nord, 58%). Son appartenance à la France s'est complètement clarifiée en 1816.

L'activité touristique y est très développée. La monnaie est l'euro, le chef-lieu est Marigot.

C'est par référendum en 2003 que la population a entériné le changement de statut qui depuis mi-2007 est celui de Collectivité Territoriale mais garde le statut de RUP et fait donc partie intégrante de l'Union européenne [1020].

### Saint-Pierre-et-Miquelon

Archipel de 8 îles situé à l'est du Canada à 25 km au sud de Terre-Neuve (46° 50' Nord, 56° 20' Ouest) dont deux îles principales, celle de Saint Pierre qui regroupe la très grande majorité de la population au chef-lieu Saint-Pierre et celle de Miquelon<sup>30</sup>. Le climat est du type océanique froid.

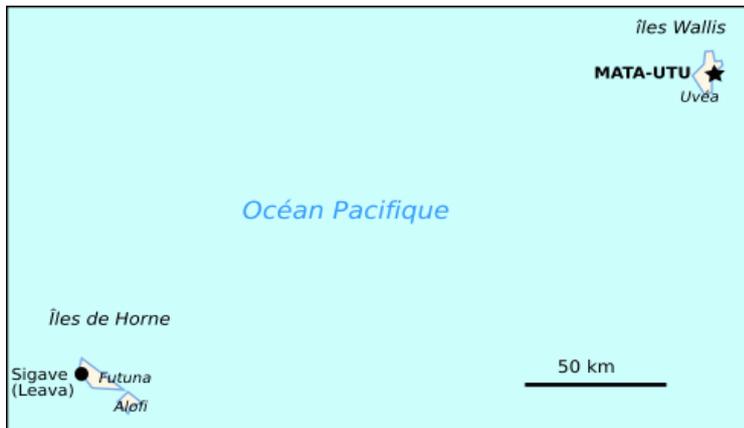
Colonisé par des marins basques et normands en 1604, l'archipel est définitivement français depuis 1814 (Traité de Paris).

Son statut a été celui de DOM en 1976 puis de collectivité territoriale en 1985.

La monnaie est l'euro. L'activité économique autrefois orientée sur la pêche est sinistrée et dépend des subventions de la Métropole.



### Wallis-et-Futuna



Deux archipels du Pacifique (13° 18' Sud, 176° 12' Ouest) au relief volcanique, celui de Wallis à l'Est, qui accueille le chef-lieu Mata-Utu, et celui de Futuna à l'Ouest distants de 200 km sont peuplés d'habitants d'origine polynésienne.

Le climat est du type tropical chaud et humide.

Les institutions de l'Etat gouvernent avec trois rois coutumiers. Ces derniers ont demandé en 1887 à être

placés sous protectorat français. Ce territoire est devenu TOM en 1961 puis COM en 2003.

Trois îles principales : Alofi, Futuna (Futuna) et Uvée (Wallis)<sup>31</sup> et deux villes Mata-Utu sur Uvée et Sigave (ou Leava) sur Futuna.

L'économie est basée sur la pêche lagunaire et l'agriculture vivrière et dépend essentiellement des subventions. Une forte immigration vers la Nouvelle-Calédonie est observée dont la population comporte plus de Wallisiens que sur les îles.

<sup>30</sup> Saint-Pierre 26 km<sup>2</sup> et Miquelon-Langlade 216 km<sup>2</sup>

<sup>31</sup> Wallis 78 km<sup>2</sup>, Futuna 46 km<sup>2</sup> et Alofi 18 km<sup>2</sup>

## Nouvelle-Calédonie



Cette grande île et les territoires rattachés (îles Loyauté, îles Belep, îles des Pins, îles Chesterfield, récifs de Bellone), dont le chef-lieu est Nouméa, se situe dans l’océan Pacifique (Mélanésie) entre l’Australie à 1 500 km à l’Ouest, la Nouvelle-Zélande 2 000 km au Sud et le Vanuatu au Nord-est (21° 30’ Sud, 165° 30’ Est)<sup>32</sup>. Le territoire est relativement peu peuplé.

Un lagon de 24 000 km<sup>2</sup> s’y déploie (barrière de corail de 1 600 km présenté comme étant le plus beau lagon du monde) avec une température de l’eau comprise entre 21 et 28 °C. Le climat est du type tropical océanique (températures comprises entre 20 et 30 °C au cours de l’année).

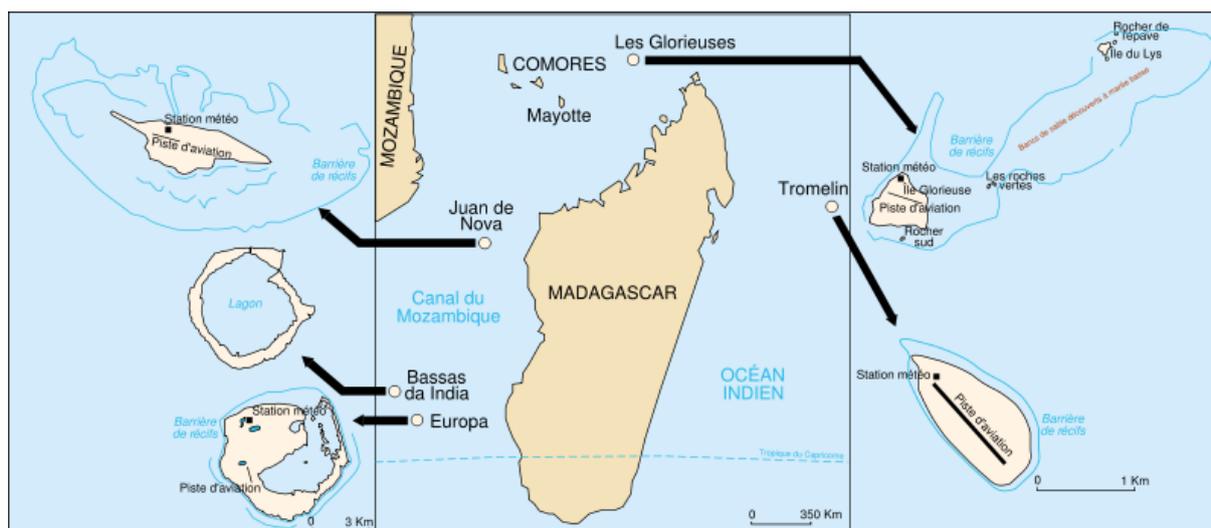
La monnaie est le franc CFP (acronyme de Comptoirs Français du Pacifique) ou XPF qui a une parité fixe avec le franc et maintenant l’euro (1 euro = environ 119 CFP). L’économie est basée sur la production de nickel, l’agriculture (cultures subtropicales, café, cocotiers) et le tourisme qui se développe. Plus de 70% de la population se concentre dans la province sud principalement autour de Nouméa.

La Nouvelle-Calédonie placée sous la souveraineté de la France depuis le XIX<sup>ème</sup> siècle, est une collectivité dite « sui generis » (« de son propre genre ») au statut de Pays d’Outre-mer (POM). Ce statut particulier fait suite aux accords de Matignon et au référendum national de 1988 prévoyant un référendum sur l’indépendance en 1998, lequel a été repoussé à une date située en 2018. Son classement fréquent au sein des COM n’est donc qu’une assimilation par simplification.

## Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF)

Les TAAF regroupent des éléments très disparates situés dans l’océan Indien ainsi que la Terre Adélie sur le continent Antarctique.

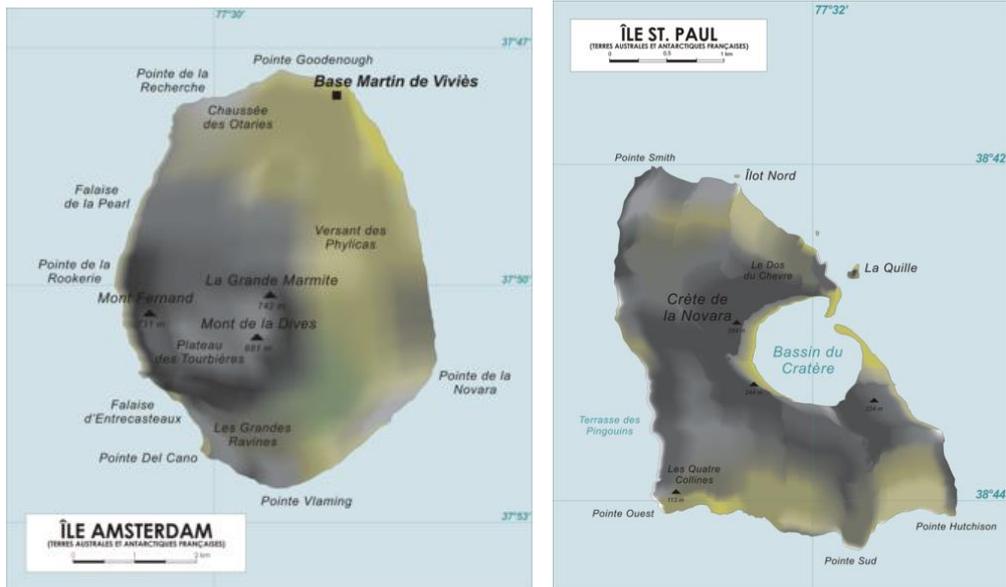
<sup>32</sup> Grande-Terre 16375 km<sup>2</sup>, Îles des Pins 150 km<sup>2</sup>, archipel de Belep 70 km<sup>2</sup> et Îles Loyauté 1981 km<sup>2</sup>



Les TAAF sont constituées de cinq districts [303, 304, 389] :

- Les îles Eparses qui regroupent différentes îles proches de Madagascar (voir carte ci-après). Ces îles, placées sous la souveraineté de la France, ne font pas partie de la République française bien que la constitution et la législation française s'y appliquent (domaine privé de l'Etat). Ces îles sont situées, mis à part Tromelin, dans le canal du Mozambique, passage stratégique du trafic pétrolier. Elles permettent à la France de disposer d'une zone économique exclusive (ZEE) de 640 000 km<sup>2</sup>. Les îles Eparses sont des réserves naturelles intégrales.
  - Tromelin située à 450 km à l'Est de Madagascar et 500 km au nord de La Réunion a une taille réduite (1,7 km x 0,7 km). L'île dont le climat est du type tropical maritime, est balayée par les alizés. Française depuis 1722, elle est revendiquée par Maurice. Une station météorologique permanente y est installée.
  - Archipel des Glorieuses situé au nord de Madagascar et constitué de deux îles coralliennes (Grande Glorieuse et île du Lys) et de divers îlots rocheux. Sa superficie est de 5 km<sup>2</sup> et le climat y est tropical. Ce territoire est français depuis 1892 mais est revendiqué par Madagascar et les Seychelles. Il abrite une garnison d'une douzaine de personnes faisant fonctionner une station radio et un poste météorologique.
  - Juan de Nova localisée à 150 km à l'Ouest de Madagascar, d'une superficie de 5 km<sup>2</sup> et française depuis 1896 mais revendiquée par Madagascar. L'île héberge une garnison de 14 hommes.
  - Bassas da India positionnée à 350 km à l'Ouest de Madagascar est une couronne de récifs coralliens d'une dizaine de kilomètres de diamètre dont la plus grande partie ne se découvre qu'à marée basse. Cette île est française depuis 1897.
  - Europa se trouve à 330 km au Sud-ouest de Madagascar dans le canal du Mozambique. Sa superficie est de 28 km<sup>2</sup>, son climat est tropical et elle dispose d'une présence permanente d'une quinzaine de personnes (militaires et météorologistes). L'île, française depuis 1897, est revendiquée par Madagascar.
- Les îles Saint Paul et Amsterdam sont situées dans l'océan Indien (vers 38° Sud et 77° Est), soit au niveau de la partie sud de l'Australie. Toutes deux, françaises depuis 1892, sont des volcans actuellement inactifs (dernière éruption en 1792) et jouissent d'un climat océanique tempéré et très venteux car situées au-dessus de la zone de convergence antarctique (séparation des eaux chaudes de l'océan Indien et froides de l'océan Antarctique).

La plus grande, Amsterdam, accueille une trentaine de personnes en moyenne sur une base scientifique permanente (Martin de Viviès). C'est également sur cette île que l'on trouve le seul troupeau de bovins sauvages au monde ; ces derniers ayant survécus à des tentatives d'installation de colons au XIX<sup>ème</sup> siècle.

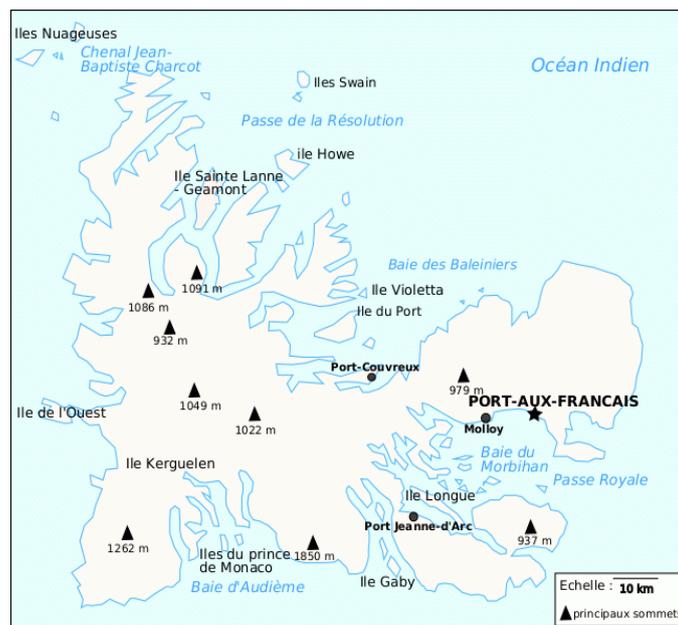


- L'archipel des Kerguelen est localisé dans le sud de l'océan Indien (vers 49° Sud et 69-70° Est). Il est volcanique et presque aussi grand que la Corse. Son climat est océanique et froid (vents violents atteignant couramment 150 km/h et dépassant 200 km/h, houle de 12 à 15m) comparable à un climat polaire de toundra (pas de température moyenne <0°C, amplitude de -10 à +20°C au niveau de la mer).

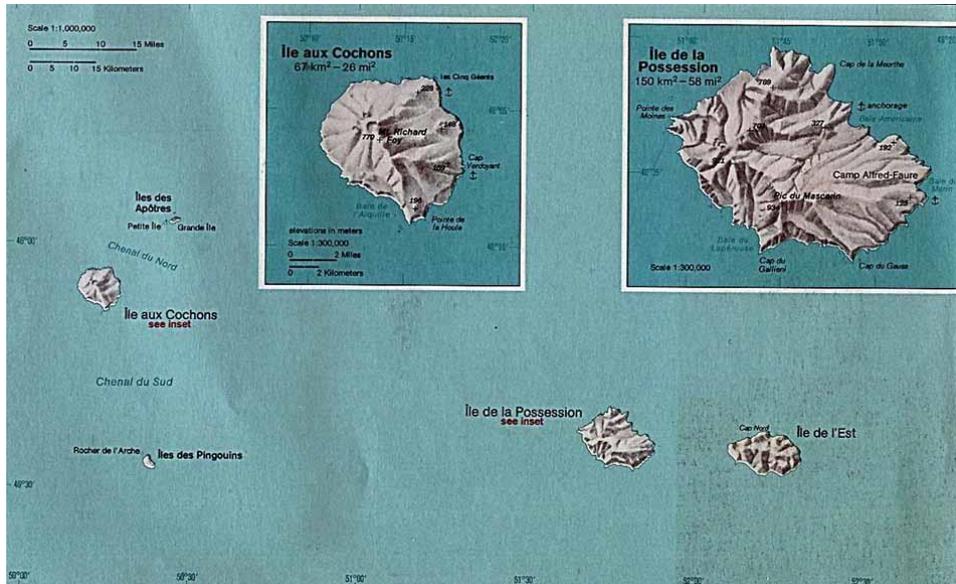
L'archipel comporte une île principale « Grande Terre » (environ 150 x 120 km) et 300 îles et îlots dont les plus notables sont « Foch », « Saint-Lanne Gramont », « Howe », « Mac Murdo », « Roland », « Croÿ », « de Castries », « du Port », « Longue », « Australia », « Haute », « Gaby », « Altazin », « Prince de Monaco », « de l'Ouest ».

L'île principale est le siège d'une base logistique technique et scientifique permanente depuis le milieu du XX<sup>ème</sup> siècle dimensionnée pour 60 à 100 personnes.

La France en a pris officiellement possession en 1893.



- Les îles Crozet sont en fait un archipel subantarctique au sud de l'océan Indien (46° Sud, 51 à 53° Est) français depuis 1772 et constitué de 5 îles volcaniques réparties en deux groupes distants de 110 km. Le groupe occidental ou « îles Froides » comporte « les Cochons » (volcan potentiellement actif), « les îlots des Apôtres » et « les «Pingouins» ». Le groupe oriental recense l'île de la Possession où se situe une base permanente de recherche (Alfred Faure) accueillant de 18 à 30 personnes et l'île de l'Est.



Le climat y est pluvieux et venteux (fortes précipitations avec 300 jours de pluie par an, vents de 100 km/h plus de 100 jours par an), la température moyenne est de 5 °C avec des amplitudes de 0 à 20 °C. Elles constituent la plus grande réserve naturelle d'oiseaux au monde (25 millions d'oiseaux).

- La Terre Adélie est une bande « étroite » s'étirant sur plus de 2 000 km, d'une part, entre la latitude 67° Sud et le pôle Sud et, d'autre part, les longitudes 136 et 142° Est. Cette étendue d'environ 432 000 km<sup>2</sup> abrite deux bases scientifiques : Dumont d'Urville (30 à 120 personnes) et Commandant Charcot.



Son altitude moyenne est de 2 500 m, la température moyenne est de l'ordre de -25 à -35 °C l'été et -60 à -70 °C l'hiver (minima -75 à -80 °C). Les tempêtes engendrent des vents chargés de particules de glace (blizzards) dépassant 200 km/h (maxi 300 km/h).

La souveraineté française s'exerce dans le cadre du Traité sur l'Antarctique signé à Washington en 1959 qui établit un gel des revendications territoriales et du protocole de Madrid en 1991 concernant la préservation de son environnement.

La France n'a pas revendiqué de ZEE pour la Terre Adélie mais réserve ses droits quant à la revendication du plateau continental et des droits d'exploiter les ressources qui pourraient s'y trouver.

## Clipperton ou île de la Passion



Ile au 2/3 constituée par un lagon intérieur, large de 50 à 400 m, située à 1 300 km à l'est des côtes du Mexique et 6 000 km au nord de Tahiti (10° 17' Nord, 109° 12' Ouest), Clipperton n'a aucune population sédentaire. Un poste météorologique automatique y est installé.

Définitivement française depuis 1931, elle confère à la France une ZEE de 425 000 km<sup>2</sup> [303, 390]. Autrefois rattachée à l'autorité de la Polynésie, Clipperton est régit par les mêmes lois que les TAAF depuis 2007 et dépend directement du gouvernement de la

Métropole.

## Nomenclature des unités territoriales définies par EUROSTAT [914] et l'INSEE [913]

Territoire	Niveau	EUROSTAT NUTS	INSEE	
			Région	Département
FRANCE	Pays	FR	00	00
ÎLE DE FRANCE	Région	FR1	11	
Paris	Dép.	FR101		75
Seine-et-Marne	Dép.	FR102		77
Yvelines	Dép.	FR103		78
Essonne	Dép.	FR104		91
Hauts-de-Seine	Dép.	FR105		92
Seine-Saint-Denis	Dép.	FR106		93
Val-de-Marne	Dép.	FR107		94
Val-d'Oise	Dép.	FR108		95
CENTRE-VAL DE LOIRE	Région	FRB	24	
Cher	Dép.	FRB01		18
Eure-et-Loir	Dép.	FRB02		28
Indre	Dép.	FRB03		36
Indre-et-Loire	Dép.	FRB04		37
Loir-et-Cher	Dép.	FRB05		41
Loiret	Dép.	FRB06		45
BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ	Région	FRC	27	
<i>Bourgogne</i>		FRC1		
Côte-d'Or	Dép.	FRC11		21
Nièvre	Dép.	FRC12		58
Saône-et-Loire	Dép.	FRC13		71
Yonne	Dép.	FRC14		89
<i>Franche-Comté</i>		FRC2		
Doubs	Dép.	FRC21		25
Jura	Dép.	FRC22		39
Haute-Saône	Dép.	FRC23		70
Territoire de Belfort	Dép.	FRC24		90
NORMANDIE	Région	FRD	28	
<i>Basse-Normandie</i>		FRD1		
Calvados	Dép.	FRD11		14
Manche	Dép.	FRD12		50
Orne	Dép.	FRD13		61
<i>Haute-Normandie</i>		FRD2		
Eure	Dép.	FRD21		27

Territoire	Niveau	EUROSTAT NUTS	INSEE	
			Région	Département
Seine-Maritime	Dép.	FRD22		76
<b>HAUTS-DE-FRANCE</b>	<b>Région</b>	<b>FRE</b>	<b>32</b>	
<i>Nord-Pas de Calais</i>		<i>FRE1</i>		
Nord	Dép.	FRE11		59
Pas-de-Calais	Dép.	FRE122		62
<i>Picardie</i>		<i>FRE2</i>		
Aisne	Dép.	FRE21		02
Oise	Dép.	FRE22		60
Somme	Dép.	FRE23		80
<b>GRAND-EST</b>	<b>Région</b>	<b>FRF</b>	<b>44</b>	
<i>Alsace</i>		<i>FRF1</i>		
Bas-Rhin	Dép.	FRF11		67
Haut-Rhin	Dép.	FRF12		68
<i>Champagne-Ardenne</i>		<i>FRF2</i>		
Ardennes	Dép.	FRF21		08
Aube	Dép.	FRF22		10
Marne	Dép.	FRF23		51
Haute-Marne	Dép.	FRF24		52
<i>Lorraine</i>		<i>FRF3</i>		
Meurthe-et-Moselle	Dép.	FRF31		54
Meuse	Dép.	FRF32		55
Moselle	Dép.	FRF33		57
Vosges	Dép.	FRF34		88
<b>PAYS DE LA LOIRE</b>	<b>Région</b>	<b>FRG</b>	<b>52</b>	
Loire-Atlantique	Dép.	FRG01		44
Maine-et-Loire	Dép.	FRG02		49
Mayenne	Dép.	FRG03		53
Sarthe	Dép.	FRG04		72
Vendée	Dép.	FRG05		85
<b>BRETAGNE</b>	<b>Région</b>	<b>FRH</b>	<b>53</b>	
Côtes-d'Armor	Dép.	FRH01		22
Finistère	Dép.	FRH02		29
Ille-et-Vilaine	Dép.	FRH03		35
Morbihan	Dép.	FRH04		56
<b>NOUVELLE-AQUITAINE</b>	<b>Région</b>	<b>FRI</b>	<b>75</b>	
<i>Aquitaine</i>		<i>FRI1</i>		
Dordogne	Dép.	FRI11		24
Gironde	Dép.	FRI12		33
Landes	Dép.	FRI13		40
Lot-et-Garonne	Dép.	FRI14		47
Pyrénées-Atlantiques	Dép.	FRI15		64
<i>Limousin</i>		<i>FRI2</i>		
Corrèze	Dép.	FRI21		19
Creuse	Dép.	FRI22		23
Haute-Vienne	Dép.	FRI23		87
<i>Poitou-Charentes</i>		<i>FRI3</i>		
Charente	Dép.	FRI31		16
Charente-Maritime	Dép.	FRI32		17
Deux-Sèvres	Dép.	FRI33		79
Vienne	Dép.	FRI34		86
<b>OCCITANIE</b>	<b>Région</b>	<b>FRJ</b>	<b>76</b>	
<i>Languedoc-Roussillon</i>		<i>FRJ1</i>		
Aude	Dép.	FRJ11		11

Territoire	Niveau	EUROSTAT NUTS	INSEE	
			Région	Département
Gard	Dép.	FRJ12		30
Hérault	Dép.	FRJ13		34
Lozère	Dép.	FRJ14		48
Pyrénées-Orientales	Dép.	FRJ15		66
<i>Midi-Pyrénées</i>		<i>FRJ2</i>		
Ariège	Dép.	FRJ21		09
Aveyron	Dép.	FRJ22		12
Haute-Garonne	Dép.	FRJ23		31
Gers	Dép.	FRJ24		32
Lot	Dép.	FRJ25		46
Hautes-Pyrénées	Dép.	FRJ26		65
Tarn	Dép.	FRJ27		81
Tarn-et-Garonne	Dép.	FRJ28		82
<b>AUVERGNE-RHÔNE-ALPES</b>	<b>Région</b>	<b>FRK</b>	<b>84</b>	
<i>Auvergne</i>		<i>FRK1</i>		
Allier	Dép.	FRK11		03
Cantal	Dép.	FRK12		15
Haute-Loire	Dép.	FRK13		43
Puy-de-Dôme	Dép.	FRK14		63
<i>Rhône-Alpes</i>		<i>FRK2</i>		
Ain	Dép.	FRK21		01
Ardèche	Dép.	FRK22		07
Drôme	Dép.	FRK23		26
Isère	Dép.	FRK24		38
Loire	Dép.	FRK25		42
Rhône	Dép.	FRK26		69
<b>PROVENCE-ALPES CÔTE D'AZUR</b>	<b>Région</b>	<b>FRL</b>	<b>93</b>	
Alpes-de-Haute-Provence	Dép.	FRL01		04
Hautes-Alpes	Dép.	FRL02		05
Alpes-Maritimes	Dép.	FRL03		06
Bouches-du-Rhône	Dép.	FRL04		13
Var	Dép.	FRL05		83
Vaucluse	Dép.	FRL06		84
<b>CORSE</b>	<b>Région</b>	<b>FRM</b>	<b>94</b>	
Corse-du-Sud	Dép.	FRM01		2A
Haute-Corse	Dép.	FRM02		2B
<b>OUTRE-MER</b>	<b>Région</b>	<b>FRY</b>		
Guadeloupe	DROM/RUP	FRY10	01*	971
Martinique	DROM/RUP	FRY20	02*	972
Guyane	DROM/RUP	FRY30	03*	973
La Réunion	DROM/RUP	FRY40	04*	974
Mayotte	DROM/RUP	FRY50	06*	976
Saint-Pierre-et-Miquelon	COM/PTOM			975
Saint-Barthélemy	COM/PTOM			977
Saint-Martin	COM/RUP			978
Wallis et Futuna	COM/PTOM			986
Polynésie française	COM/PTOM			987
Nouvelle-Calédonie	POM/PTOM			988
Terres australes et antarctiques françaises	PTOM			984
Île de Clipperton	-			989

*Les cinq départements d'outre-mer ont aussi chacun le statut de région. Ces cinq territoires sont parties intégrantes de l'UE et appartiennent à la nomenclature NUTS. A noter l'exception de Saint-Martin qui est resté partie intégrante de l'UE tout en ayant quitté le statut de département pour le statut de collectivité d'Outre-mer (depuis 2007).*

#### N.B. Correspondance entre NUTS et nouvelles régions

Jusqu'au 31 déc. 2015, les NUTS étaient organisés ainsi : 101 Départements (NUTS 3), rassemblés en 27 régions (NUTS 2), rassemblées en 9 Zones d'Etudes et d'Aménagement du Territoire (ZEAT) (NUTS 1). Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2016, plusieurs régions parmi les 27 ont été fusionnées, et ces nouvelles régions ne sont plus compatibles avec les 9 ZEAT, rendant ces dernières obsolètes.

Les NUTS ont ainsi été révisés en 2016 (RÈGLEMENT (UE) 2016/2066 DE LA COMMISSION du 21 novembre 2016) applique désormais le zonage suivant :

- le niveau le plus fin, NUTS 3, correspond toujours aux départements
- le niveau NUTS 2 correspond aux 22 anciennes régions (les ZEAT deviennent obsolètes)
- le niveau NUTS 1 correspond aux 13 nouvelles régions.

La mise à jour de la nomenclature NUTS pour prendre en compte cette réforme n'est pas encore réalisée. Nous considérons ici à titre indicatif : les départements comme NUTS 3, les anciennes régions comme NUTS 2 et les nouvelles régions comme NUTS 1. Dans ce tableau, les noms des NUTS (niveaux 3 et 2 seulement) sont donc indiqués à titre indicatif, dans l'attente de leur mise à jour.