



# Rapport **OMINEA** | Transports Ed. 2026

Organisation et méthodes des  
inventaires nationaux des émissions  
atmosphériques en France

# Rapport **OMINEA** | Transports Ed. 2026

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

Avril 2026

Rédaction	
Contributeurs	Jean-Marc ANDRE, Grégoire BONGRAND, Fanny JOUBERT, Gabriel KRENZER, Mathis PASTORELLI, Bertrand VIDAILHET, Thamara VIEIRA DA ROCHA.

Coordination, Vérification et Approbation finale		
Coordination et Vérification	Fanny JOUBERT, Ingénieure d'études Etienne MATHIAS, Directeur de la Division Inventaires	15/04/2026
Approbation finale	Jean-Pierre CHANG, Directeur adjoint Jérôme BOUTANG, Directeur général	15/04/2026

Pour citer ce document :

Citepa, 2026. Rapport OMINEA | Transports – 23<sup>e</sup> édition

© Citepa 2026

Ce Rapport a été réalisé avec la participation financière du Ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité, et des Négociations Internationales sur le Climat et la Nature (MTEBNICN).

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

Rapport n°2731omi/ 2026 | 1. Transports.docx

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

<https://www.citepa.org/methodologie-de-linventaire-omine/>

@ 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)



# Sommaire

Table des illustrations .....	3
Table des tableaux .....	3
Préambule .....	5
Transports   Introduction .....	6
Transport aérien .....	7
Transport routier.....	15
Transport ferroviaire.....	35
Transport fluvial et plaisance.....	44
Transport maritime .....	50
Stations de compression du réseau de transport et de distribution du gaz.....	63
Autres transports .....	68
Transport international.....	70
Opérations multilatérales .....	71
Crédit des illustrations .....	75

## Table des illustrations

Figure 1 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du transport aérien. ....	14
Figure 2 : Logigramme du processus de calcul du parc de véhicules français avec le modèle OPALE. ....	20
Figure 3 : Logigramme du processus d'estimation des données nécessaires au calcul des émissions par le modèle COPERT. ....	23
Figure 4 : logigramme de processus d'estimation des émissions par la méthodologie COPERT .....	28
Figure 5 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du ferroviaire. ....	43
Figure 6 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du fluvial et de la plaisance. ....	49
Figure 7 : logigramme de détermination des ratios de ventes de soutes maritimes à destination des trafics domestiques et internationaux .....	57
Figure 8 : ratios moyens de puissance entre les moteurs 2 temps et 4 temps par type de carburant .....	58
Figure 9 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du trafic maritime. ....	62
Figure 10 : Logigramme du processus d'estimation des émissions des stations de compression.....	66
Figure 11 : Logigrammes du processus d'estimation des émissions du secteur des opérations multilatérales .....	74

## Table des tableaux

Tableau 1 : catégorisation des reportages suivant les phases de vols et des liaisons .....	9
Tableau 2 : Facteurs d'émission de particules pour la combustion dans les APU .....	13
Tableau 3 : facteurs d'émissions de CO <sub>2</sub> par carburant utilisé dans le transport routier.....	30
Tableau 4 : Proportions de PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> et PM <sub>1.0</sub> dans les TSP de l'abrasion .....	32
Tableau 5 : Proportion de BC dans les émissions de PM <sub>2.5</sub> de la combustion par type de véhicule et par norme .....	32
Tableau 6 : Proportion de BC dans les émissions de PM <sub>2.5</sub> de l'abrasion .....	32
Tableau 7 : Contenu en métaux lourds des huiles .....	33
Tableau 8 : Contenu en métaux lourds des carburants .....	33
Tableau 9 : Contenu en métaux lourds des pneus, des freins et de la route.....	33
Tableau 10 : facteurs d'émission de NOx pour le ferroviaire par type d'engin et par norme .....	39
Tableau 11 : facteurs d'émission de COVM pour le ferroviaire par type d'engin et par norme .....	39
Tableau 12 : facteurs d'émission de CO pour le ferroviaire par type d'engin et par norme .....	40
Tableau 13 : facteurs d'émission de TSP pour le ferroviaire par type d'engin et par norme .....	40
Tableau 14 : facteurs d'émission de PM <sub>10</sub> pour le ferroviaire par type d'engin et par norme .....	40
Tableau 15 : facteurs d'émission de PM <sub>2.5</sub> pour le ferroviaire par type d'engin et par norme .....	41
Tableau 16 : facteurs d'émission de TSP pour l'abrasion des freins d'une part et pour le contact rails-roues pour le ferroviaire .....	41
Tableau 17 : proportion de PM <sub>10</sub> et de PM <sub>2.5</sub> dans les émissions de TSP pour le ferroviaire par type d'abrasion .....	41
Tableau 18 : facteurs d'émission des HAP pour les émissions de la combustion du ferroviaire .....	42
Tableau 19 : proportion de PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> et PM <sub>1.0</sub> dans les émissions de TSP de la plaisance et du fluvial.....	47
Tableau 20 : facteurs d'émission des HAP pour les émissions de la combustion du fluvial et de la plaisance .....	48
Tableau 21 : ratios de ventes de carburants marins pour le trafic domestique dans les RUP de l'UE.....	52
Tableau 22 : ratios de ventes de carburants marins pour le trafic domestique dans les PTOM (hors UE) .....	52
Tableau 23 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon, en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord est une SECA. ....	54
Tableau 24 : Part des ventes attribuable aux trafics domestique et international, pour les années à partir de 2015 .....	54
Tableau 25 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord n'est pas une SECA.....	55
Tableau 26 : Part des ventes attribuable aux trafics domestique et international, pour les années de 2010 à 2014 .....	55
Tableau 27 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord n'est pas une SECA et que les navires restant plus de 2 h à quai ne changent pas de carburant. ....	55
Tableau 28 : Part des ventes attribuable aux trafics domestique et international, pour les années avant 2010 .....	56
Tableau 29 : facteurs d'émission des métaux lourds du maritime pour les carburants et l'huile (en mg/GJ) .....	61

# Préambule

Le rapport OMINEA comprend une description détaillée, par secteur émetteur, des méthodologies utilisées pour estimer les émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques (approche utilisée, données sources, hypothèses, facteurs d'émissions, etc.).

Le présent document s'attache à décrire les méthodologies utilisées pour estimer les émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques du secteur **Transports**.

En parallèle, les méthodologies détaillées des autres secteurs sont disponibles sur le site internet du Citepa. Les volumes sont structurés commeme suit :

- 0. Parties générales
  - OMINEA. Parties générales
  - OMINEA. Références & Annexes
- 1. Energie
  - OMINEA. Énergie. Éléments généraux
  - OMINEA. Industrie de l'énergie
  - OMINEA. Industrie manufacturière
  - OMINEA. Transports
  - OMINEA. Autres secteurs
  - OMINEA. Non spécifiés
  - OMINEA. Émissions fugitives des combustibles
- 2. Procédés industriels & usages de produits (IPPU)
  - OMINEA. Produits minéraux
  - OMINEA. Chimie
  - OMINEA. Métallurgie
  - OMINEA. Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvants
  - OMINEA. Industrie électronique
  - OMINEA. Consommation d'halocarbures et SF6
  - OMINEA. Autres usages et fabrication de produits
  - OMINEA. Autres procédés
- 3. Agriculture
  - OMINEA. Agriculture
- 4. Déchets
  - OMINEA. Déchets
- 5. UTCTAF
  - OMINEA. UTCATF
- 6. Autres
  - OMINEA. Autres

Toutes les références et annexes citées dans le présent document font références au document OMINEA. Références & Annexes évoqué ci-dessus. **Il est conseillé de télécharger ce document en parallèle dans le cadre d'une consultation du présent guide méthodologique.**





# Transports | Introduction

Le secteur intègre d'une part les sources routières des différentes catégories de véhicules et d'autre part les sources non routières. Ces dernières incluent les transports aérien, ferroviaire, maritime (hors pêche), fluvial de marchandises et autres modes de navigation (bateaux de plaisance et autres petits bateaux).

Ce secteur est la source clé des émissions des gaz à effet de serre, majoritairement dues aux émissions de CO<sub>2</sub> du transport routier. Ces émissions sont sensiblement à la baisse sur la dernière décennie. Ceci s'explique par la baisse sensible des émissions du routier et de l'aérien domestique, et des diminutions importantes du ferroviaire, de la navigation domestique et des stations de compression.

Les émissions du transport sont issues d'une part de la combustion des carburants mais aussi de l'évaporation de l'essence et des abrasions (freins, pneus, route, caténaires, etc.). Les émissions sont distinguées par type d'énergie utilisée (gazole, essence, GPLc, GNV, électricité, etc.).

Seule une partie des émissions des avions, des navires de haute mer et des bateaux fluviaux est prise en compte dans les émissions totales en France. Chacun de ces sous-secteurs du transport peut lui-même être partagé en :

- trafic domestique : défini par les liaisons entre deux points situés dans le pays considéré, en l'occurrence la France ;
- trafic international : défini par les liaisons entre deux points, l'un en France l'autre à l'étranger.

Rédaction : **Jean-Marc ANDRE, Fanny JOUBERT, Gabriel KRENZER, Mathis PASTORELLI, Bertrand VIDAILHET, Tamara VIEIRA DA ROCHA**

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
13/01/2026	JMA	22/01/2026	BV

# Transport aérien

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 / CRT	1.A.3.a / 1.D.1.a
CEE-NU / NFR	1A3ai(i) et 1A3aii(i) / 1A3ai(ii) et 1A3aii(ii)
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 et calé sur les ventes de carburants pour l'aviation.	<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, y compris l'usage des APU.</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 (<http://www.aeroport.fr>)
- [1142] International Civil Aviation Organization (ICAO) Carbon Emissions Calculator Methodology, Version 11, June 2018 ([www.icao.int](http://www.icao.int))
- [1144] Airport Air Quality Manual. First Edition — 2011. International Civil Aviation Organization ([www.icao.int](http://www.icao.int))
- [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
- [1388] HEFA Production and Feedstock Selection 2019, CBSCI
- [1389] CARBURE : La plateforme de gestion des flux de biocarburants, <https://carbure.beta.gouv.fr/>

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

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

- Les rejets lors de la combustion de carburants par les équipements de propulsion ou de servitude (e.g. les APU),
- Les émissions connexes attachées aux aéronefs (usure des pneumatiques, des freins, abrasion des pistes, etc.).

Les émissions liées aux activités environnantes telles que les engins de piste, le trafic routier induit ou les servitudes aéroports (chaufferie, restauration, entretien d'espaces verts, etc.) sont incluses, dans le cadre des inventaires nationaux, dans les activités de même nature à une échelle plus générale (par exemple trafic routier, combustion, etc.). Ces émissions ne sont donc pas traitées dans cette section. Au niveau de la plateforme aéroportuaire, elles sont d'importance variable selon la taille du site. Il est parfois justifié de les appréhender spécifiquement. Le lecteur se reportera éventuellement au guide méthodologique développé par le Citepa [697].

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

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

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

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

- A la phase de vol dite « LTO » (Landing and Take Off, ie atterrissage et décollage), située au-dessous de 3 000 pieds (914 m, souvent arrondi à 1 000 m),
- A la phase de vol dite « croisière », au-dessus de 3 000 pieds (914 m souvent arrondi à 1 000 m).

Chacun de ces deux sous-ensembles est lui-même partagé en :

- Trafic domestique ou intérieur (liaisons entre deux aéroports situés dans le pays considéré, en l'occurrence la France),
- Trafic international (liaisons entre deux aéroports, l'un en France l'autre à l'étranger) pour la contribution relative aux ventes de carburant sur le territoire national.

La combinaison de ces deux critères conduit à définir quatre catégories qui sont diversement prises en compte dans les inventaires :

**Tableau 1 : catégorisation des reportages suivant les phases de vols et des liaisons**

	Trafic < 1 000 m (LTO)	Trafic > 1 000 m (croisière)
<b>Liaisons domestiques</b>	SNAP 08.05.01 - dans le total CCNUCC (1.A.3.a) - dans le total CEE-NU/NEC <sup>1</sup> (1A3aii(i))	SNAP 08.05.03 - dans le total CCNUCC (1.A.3.a) - hors total CEE-NU/NEC (1A3aii(ii))
<b>Liaisons internationales</b>	SNAP 08.05.02 - hors total CCNUCC (1.D.1.a) - dans le total CEE-NU/NEC (1A3ai(i))	SNAP 08.05.04 - hors total CCNUCC (1.D.1.a) - hors total CEE-NU/NEC (1A3ai(ii))

## Le cycle LTO

La partie du vol au-dessous de 3 000 pieds correspond aux phases de décollage et d'atterrissage des avions. Elle comprend plusieurs phases :

- L'approche (de 3 000 pieds au sol, soit environ 1 000 m),
- Le roulage sur la piste (après l'atterrissage et avant le décollage), appelé temps de « taxi »,
- Le parking,
- Le décollage,
- La montée (jusqu'à 3 000 pieds, soit environ 1 000 m).

Les émissions des différentes phases du cycle LTO dépendent de la durée de chacune de ces phases (elles-mêmes variables selon les aéroports et les couples avion x moteur) et des caractéristiques des aéronefs (notamment du couple avion x moteur et des conditions d'exploitation).

<sup>1</sup> Format utilisé dans le cadre de la directive sur les plafonds d'émission nationaux (National Emission Ceilings)

Les émissions des APU (Auxiliary Power Unit) sont estimées (pour les avions qui en sont dotés) et incluses dans les émissions LTO. L'APU est un petit turboréacteur embarqué, qui permet à l'avion d'être autonome en escale pour l'air et l'électricité.

## La croisière

La partie du vol au-dessus de 3 000 pieds comporte :

- La montée (de 3 000 pieds à l'altitude de croisière),
- La croisière stabilisée (partie du vol à altitude stabilisée),
- La descente (de l'altitude de croisière à 3 000 pieds).

Les émissions des différentes phases de la croisière dépendent de la durée de chacune de ces phases (elles-mêmes variables selon les types d'avions) et des caractéristiques des aéronefs (selon les types d'avions et les conditions d'exploitation).

## Données caractéristiques du trafic

Les données relatives aux mouvements des aéronefs sont recensées par la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) [127, 131, 132, 1137]. Ces données correspondent aux vols commerciaux et non commerciaux. Le temps de « taxi » est déterminé pour chaque aéroport, lorsque ces données sont disponibles dans les bases de la DGAC. En l'absence d'information, des données moyennes des années disponibles sont appliquées. Les aéroports pour lesquels aucune information n'est disponible se voient appliquer des temps forfaitaires et sont regroupés selon les classes suivantes :

- Roissy et Orly,
- Les 11 aéroports français dont les trafics commerciaux (en nombre de mouvements) sont les plus importants après Roissy et Orly : Ajaccio, Bâle-Mulhouse, Bordeaux-Mérignac, Lille-Lesquin, Lyon-St-Exupéry, Marseille-Provence, Montpellier-Méditerranée, Nantes-Atlantique, Nice-Côte d'Azur, Strasbourg-Entzheim, Toulouse-Matabiau,
- Les autres aéroports français,
- Les aéroports internationaux étrangers.

Les informations sur la motorisation des aéronefs et les consommations associées proviennent de différentes sources [127, 128, 129, 130, 903]. Certaines assimilations sont opérées en cas d'information manquante ou de multiples motorisations.

Le partage des liaisons entre la France hexagonale et les Outre-mer (avec distinction des Territoires inclus dans l'UE ou non) est effectué en retenant l'hypothèse du partage pour moitié des liaisons respectives entre ces trois ensembles.

## Données statistiques de consommation

Les données de ventes de carburants à usage de l'aviation [14] sont disponibles et permettent d'assurer un bouclage sur les consommations totales de carburants avions. Pour les territoires d'Outre-mer inclus ou non dans l'UE, c'est le bilan de l'énergie compilé par le Citepa qui est utilisé [666].

La contribution française à la consommation relative à la croisière internationale de la France hexagonale ( $Conso_{CR,Int,HEX}$ ) est calculée par différence entre :

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

$$\begin{aligned} Conso_{CR,Int,HEX} = & VENTES_{HEX+OM} - Conso_{LTO,Dom,HEX} - Conso_{LTO,Dom,OM} - Conso_{LTO,Int,HEX} - Conso_{LTO,Int,OM} \\ & - Conso_{CR,Dom,HEX} - Conso_{CR,Dom,OM} - Conso_{CR,Int,OM} \end{aligned}$$

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<sup>2</sup>). Le bouclage n'est pas fait séparément pour la France hexagonale et pour chaque territoire d'outre-mer, car pour ces derniers, il peut exister pour certaines années, en fonction de données économiques, des effets d'avitaillement (i.e. les avions font une escale pour simplement faire le plein dans un pays étranger au cours d'un vol domestique).

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

L'activité relative à la combustion est déterminée pour les divers éléments fins (par type de couple avion x moteur, phase, liaison, etc.). Face au volume important de données (le seul fichier de trafic des vols commerciaux par liaison type comporte entre un million et un million cinq cent mille enregistrements par année) et aux divers paramètres en relation, le traitement des données est réalisé au moyen d'une application informatique développée conjointement avec la DGAC, qui constitue un outil commun pour les inventaires d'émissions nationaux et divers reportages de la DGAC.

Les émissions sont déterminées chaque année aussi bien pour les vols commerciaux et non commerciaux, de manière à renseigner les différents sous-ensembles requis par le rapportage des inventaires. 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 gaz à effet de serre (NID) :

### **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 biokérosène sont calculées à partir du facteur d'émission de 70,70 kg CO<sub>2</sub>/GJ [1388, 1389] (cf. partie générale combustion dans le paragraphe sur les biocarburants) et sont rapportées dans la ligne biomasse.

---

<sup>2</sup> TARMAAC : Traitements et Analyses des Rejets éMis dans l'Atmosphère par l'Aviation Civile

### **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, le biokérosène et pour l'essence aviation. 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'émission par type de couple avion x moteur, par aéroport, par phase sont considérées dans le calcul, seuls les émissions et les facteurs d'émission 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, 128, 1299 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 ( $PM_{CR,FOA3}$ ) sont calculées à partir du ratio entre les émissions de PM du cycle LTO par la méthode FOA3 ( $PM_{LTO,FOA3}$ ) et les consommations du cycle LTO ( $Conso_{LTO}$ ), auquel on multiplie les consommations de la croisière ( $Conso_{CR}$ ).

$$PM_{CR,FOA3} = \frac{PM_{LTO,FOA3}}{Conso_{LTO}} \cdot Conso_{CR}$$

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 (vols dont la distance est de généralement moins de 1 500 km, avec des durées de vol de moins de 4 h) et moyen-courrier (vols dont la distance varie entre 1 500 à 4 000 km, avec des durées de vol de 4 à 6 h) d'une part et long-courrier (vols dont la distance dépasse 4 000 km, avec des durées de vol pouvant aller parfois jusqu'à 12 h) d'autre part [128]

**Tableau 2 : Facteurs d'émission de particules pour la combustion dans les APU**

<i>g/t</i>	<i>Cours et moyens courriers</i>	<i>Longs courriers</i>
<i>TSP</i>	25	40
<i>PM<sub>10</sub></i>	25	40
<i>PM<sub>2,5</sub></i>	20,6	33,8
<i>PM<sub>1,0</sub></i>	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 guide méthodologique 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'émission 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 fonction du 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 part de plomb.

Le facteur d'émission de plomb pour l'AvGas est de 0,560 g Pb/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.

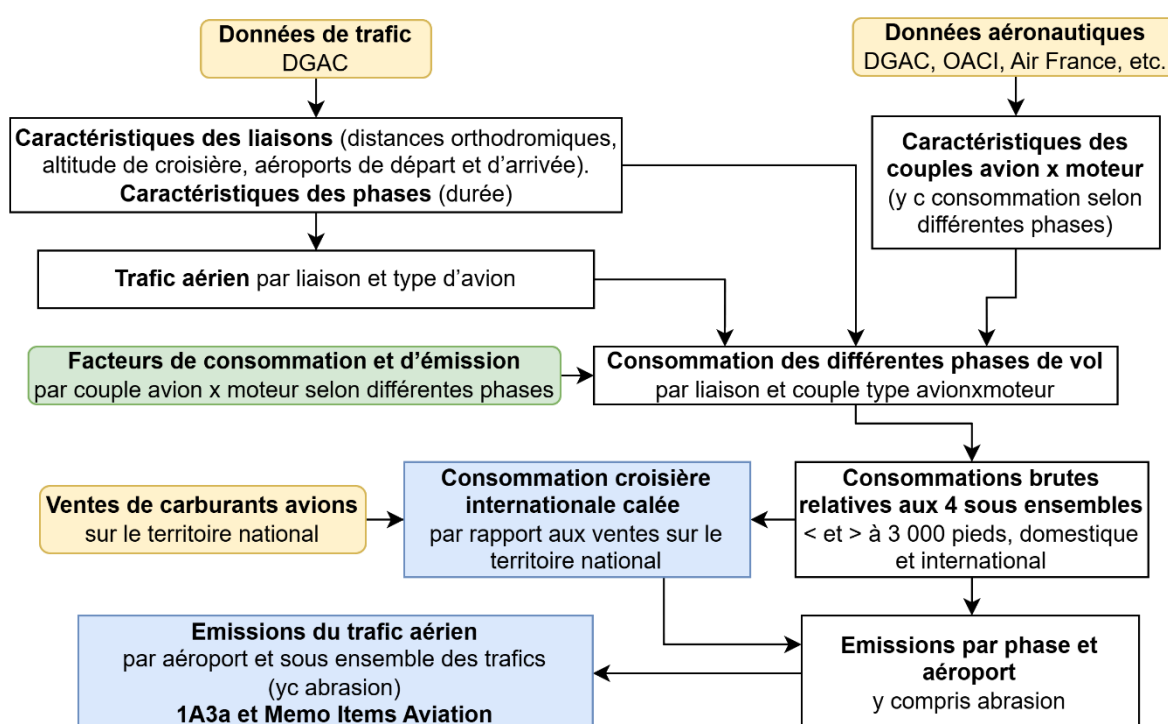
### **Polychlorobiphényles (PCB)**

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.

**Figure 1 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du transport aérien.**



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
12/02/2026	TVDR	13/02/2026	JMA

# 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 / CRT	1.A.3.bi-iv
CEE-NU / NFR	1.A.3.bi-vii
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
Bottom-up basé sur les trafics par type de véhicules et par motorisation et calé sur les ventes de carburants routier.	Recours à des modèles et des fonctions ou facteurs spécifiques à chaque catégorie, facteurs d'émission EMEP/EEA 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 (méthodologie Tier 3 du guide méthodologique EMEP/EEA), 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.

### CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O :

Méthode de rang 3 (méthodologie Tier 3 du guide méthodologique EMEP/EEA), avec des facteurs d'émission prenant en compte les conditions de trafic national.

### Autres polluants :

Méthode de rang 3 (méthodologie d'émissions du guide méthodologique EMEP/EEA avec l'usage de certains paramètres par défaut du modèle COPERT correspondant à la version du guide méthodologique pris en référence, sauf indication contraire), 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 milieux 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 :

- [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 – statistiques annuelles des carburants
- [31] Ministère chargé des Transports – Rapport annuel de la Commission des Comptes des Transports de la Nation (CCTN)
- [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
- [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

- [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] ONISR (Observatoire national interministériel de la sécurité routière). Bilans annuels de la sécurité routière en France
- [547] ANDRE M. et al. – Statistiques de parcs et trafic pour le calcul des émissions de polluants des transports routiers en France, rapport provisoire de l'IFSTTAR, 2013
- [548] MEDDE/CGDD/SOeS – Enquêtes annuelles sur le transport routier de marchandises (TRM, 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).
- [1141] MTE/CGDD/SDeS : rapport annuel du bilan annuel des transports
- [1156] Service statistique du Ministère en charge de l'environnement - SDES. Données et études statistiques : Parc de voitures selon la vignette Crit'air.
- [1281] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.b.i-iv Road transport
- [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.
- [1398] Directive 2009/30/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 avril 2009 modifiant la directive 98/70/CE en ce qui concerne les spécifications relatives à l'essence, au carburant diesel et aux gazoles ainsi que l'introduction d'un mécanisme permettant de surveiller et de réduire les émissions de gaz à effet de serre, modifiant la directive 1999/32/CE du Conseil en ce qui concerne les spécifications relatives aux carburants utilisés par les bateaux de navigation intérieure et abrogeant la directive 93/12/CEE
- [1419] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 -1.A.3.b.v Gasoline evaporation

## Caractéristiques de la catégorie (communes au NID 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 à l'échappement**  : elles incluent celles générées par la combustion des carburants dans les moteurs et par le post-traitement des gaz d'échappement (comme les pots catalytiques et les filtres à particules), visant à réduire les polluants avant leur rejet dans l'atmosphère,
- **Les émissions par évaporation des carburants et liées aux fuites des climatisations :**

- L'évaporation de composés organiques volatils (COV) contenus dans les carburants tant lors du fonctionnement qu'à l'arrêt du véhicule,
- Les fuites de fluides frigorigènes utilisés pour la climatisation,
- **Les émissions par abrasion :**
  - L'abrasion mécanique de divers organes des véhicules (freins, pneumatiques),
  - L'usure du revêtement routier.

## Méthode générale d'estimation des émissions (communes au NID 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. Toutefois dans le cas du transport routier, elles dérogent en partie à cette règle et classent dans la même **catégorie 1.A.3.b** toutes les émissions dues au transport routier, à l'exception :

- des émissions des fluides frigorigènes rapportés dans la catégorie CRT 2.F.1,
- des émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'utilisation de l'urée dans les systèmes de réduction catalytique sélective des NOx (*Selective Catalyst Reduction*, SCR), rapportés dans la catégorie CRT 2.D.3.4 « autres usages non énergétiques de produits »,
- des émissions de CO<sub>2</sub> liées à la combustion des huiles dans les moteurs 4-temps (usage non énergétique), rapportées dans la catégorie CRT 2.D.1 (les autres polluants sont rapportés en NFR 2.G).

### Les données pour le calcul des émissions du transport routier

L'estimation des émissions des véhicules routiers liées à la combustion et à l'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 ou de carburant : essence, Diesel, bicarburation, GPLc, GNV, etc.,
  - Catégorie du véhicule en fonction de sa taille, masse ou cylindrée,
  - Age du véhicule et conformité aux normes environnementales notamment EURO (donc de la présence d'équipements tels que pot catalytique, filtre à particules, injection, type de réservoir, climatisation),
- **A l'utilisation du véhicule**  :
  - Répartition du trafic selon le type de voie et les comportements routiers (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 de la méthodologie EMEP/EEA [1281], des vitesses par type de réseau, du taux de chargement et du nombre d'essieux des véhicules lourds et d'une étude du WBCSD [499].
- Les émissions de HFC utilisées comme fluide frigorigène pour la climatisation des véhicules sont déterminées à partir des travaux réalisés par le Citepa (cf. OMINEA\_2F1\_refrigeration air conditioning).

## Les étapes clés pour les calculs des émissions

Le calcul des émissions se fait en trois étapes clés :

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

### Etape 1 : Calcul du parc statique (nombre) des véhicules immatriculés en France avec le modèle OPALE

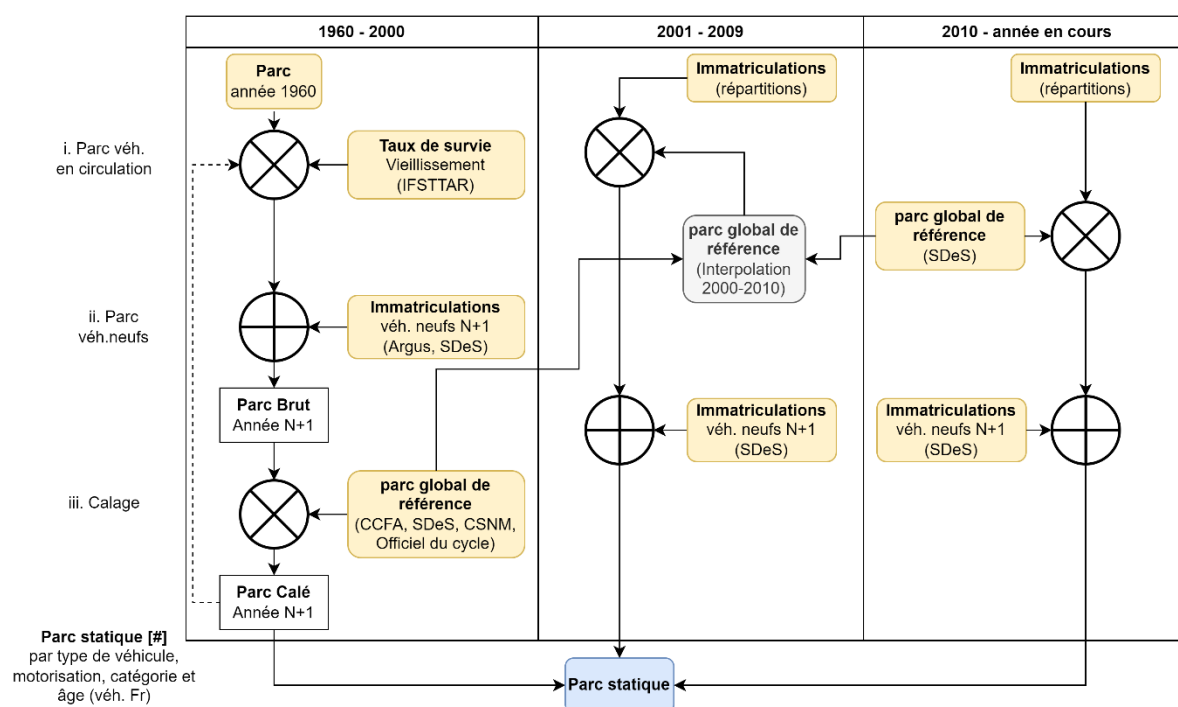
Le modèle OPALE (Ordonnancement du Parc Automobile en Liaison avec les Emissions) a été développé par le Citepa pour établir un parc statique détaillé des véhicules immatriculés en France à partir des données statistiques disponibles [31, 54, 55, 56, 57, 58, 311, 387, 546, 1141, 1156, 1289], compatible avec la méthodologie EMEP/EEA de rang 3 [1281].

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/PTAC, rattachement aux normes d'émissions). A partir d'un parc statique détaillé estimé pour l'année 1960, le calcul de parc dans OPALE (cf. Figure 2) se déroule selon les étapes suivantes pour chaque année d'évaluation :

- Calcul du parc des véhicules en circulation** à partir du parc global de référence (donnée d'entrée) :
  - Pour les années 1961 à 2000 (1961 à l'année en cours pour les 2 roues) : application de taux de survie en fonction de l'âge des véhicules à la structure fine du parc de l'année précédente. Ces taux, calculés à partir du parc global de référence ou issus de la littérature, permettent d'enlever, chaque année, un certain nombre de véhicules en vieillissant le parc.
  - Pour les années 2010 à l'année en cours (hors 2 roues) : les données du parc global de référence comportent un détail plus fin (incluant la motorisation). Le parc est alors désagrégué au prorata des données historiques d'immatriculations des véhicules neufs (type de véhicule, type de motorisation, cylindrée/PTAC).
  - Pour les années 2001 à 2009 (hors 2 roues) : afin d'assurer la continuité et la cohérence entre les deux séries de données, un ajustement du parc global de référence au niveau de détail de la série la plus récente (série 2010 à l'année en cours, cf. point précédent) est mis en œuvre : parc en fonction de l'âge, par type de véhicule et motorisation. Le même principe de calcul que pour la série récente est alors appliqué : le parc de référence ajusté est désagrégué au prorata des données historiques d'immatriculations des véhicules neufs.
- Calcul du parc des véhicules neufs** : Ajout, au parc précédent, du parc de véhicules neufs basé sur les données statistiques d'immatriculations des véhicules neufs issues de données statistiques [55, 56, 1289].
- Calage** : Pour les années 1961 à 2000 (1960 à l'année en cours pour les 2 roues), le parc résultant est ajusté afin de correspondre au parc global de référence issu de données statistiques [54, 546, 551, 1156].



**Figure 2 : Logigramme du processus de calcul du parc de véhicules français avec le modèle OPALE.**



L'hypothèse est faite que 30 % des immatriculations dans l'année qui précèdent la mise en place d'une norme sont conformes à ladite norme [547].

Par principe de calcul, le modèle OPALE estime un parc statique au 31 décembre de chaque année, et pour chaque classe (type de véhicules, motorisation, cylindrée/PTAC, norme). Ce principe méthodologique est appliqué tel que détaillé ci-après.

#### Calcul du parc statique pour les VP, VUL et PL (y compris bus et car) immatriculés en France

##### *Le parc global de référence :*

Pour la période 1960-2000, le parc global de référence retenu est celui établi par le CCFA [54]. Pour les VP et les VUL, ce parc était, de l'avis de nombreux experts, le plus représentatif avant exploitation des données du contrôle technique, car prenant en compte les véhicules en fin de vie retirés du parc grâce aux données des vignettes fiscales (obligatoires pour circuler jusqu'en 2000). Ces données détaillent le parc par âge en fonction du type de véhicule. Pour les PL (y compris les bus et cars), le parc est détaillé tel que présenté dans l'encadré à la fin de cette section.

Pour la période depuis 2010, le parc global de référence retenu est celui établi par le SDES [1156]. Il est issu de l'appariement du fichier des immatriculations et du fichier des contrôles techniques. Les contrôles techniques ont lieu tous les deux ans à partir de la 4<sup>e</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>e</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 sur les vignettes fiscales, ce qui peut laisser penser que l'incertitude de la donnée augmentait au fil des années. Afin de rendre la série temporelle cohérente, le parc global de référence pour cette période est ajusté en considérant (i) le parc par âge en fonction du type de véhicule et de la motorisation calculé via OPALE pour l'année 2000 et (ii) le parc du SDES [1156] pour l'année 2010. Le parc résultant est au même niveau de détail que celui du parc SDES.

### Les immatriculations de véhicules neufs :

Les immatriculations de VP neufs par cylindrée et de VUL et PL neufs par PTAC sont issus des données DAEI [55], ARGUS [56] et SDES [1289].

### Les taux de survie :

Pour la période 1960-2000, les taux de survie annuels des VP et des VUL sont calculés à partir des deux jeux de données précédents (parc par âge et immatriculations) par type de véhicule. Pour les autres types de véhicules, les taux de survie sont ceux de la littérature [311] :

- Pour les bus et cars, les taux de survie sont appliqués en fonction du type de motorisation (Diesel et roulant à essence) ;
- Pour les PL, les taux de survie sont appliqués en fonction de leur catégorie et motorisation :
  - Poids-lourds rigides Diesel ;
  - Poids-lourds articulés Diesel ;
  - Poids-lourds essence.

Pour la période depuis 2001, le parc est calculé selon l'équation suivante :

$$\begin{aligned}
 Parc_{OPALE}(n, type, moteur, catégorie, âge, norme) \\
 = \frac{immat(n - âge, type, moteur, catégorie)}{\sum_{catégorie} immat(n - âge, type, moteur, catégorie)} \times c_{Euro}(norme) \\
 \times ParcCalage(n, type, moteur, âge)
 \end{aligned}$$

Où :

$Parc_{OPALE}$ :	Parc statique calculé au format inventaire [nombre de véhicules] ;
$n$ :	année d'évaluation ;
$type$ :	type de véhicules [VP, VUL, PL rigide, PL articulé, Bus ou Car] ;
$moteur$ :	type de motorisation/carburant [Diesel, essence, électrique ou hybride rechargeable] ;
$catégorie$ :	catégorie du véhicule en fonction de sa taille, masse ou cylindrée ;
$âge$ :	âge du véhicule ;
$norme$ :	norme Euro correspondante à l'année de première mise en circulation du véhicule, selon son âge ;
$immat$ :	nombre d'immatriculations de véhicules neufs ;
$c_{Euro}$ :	coefficient de transition des normes Euro ;
$ParcCalage$ :	le parc global de référence issu des données statistiques.

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

Pour les véhicules roulant au GPL ou au GNV, la structure fine est obtenue en appliquant la répartition fine des véhicules essence, car en général ces véhicules ont une double motorisation dont la motorisation essence.

### Le niveau de détail du parc global de référence :

- **Pour les VP et VUL :**
  - [1960-2000] Parc par âge et type de véhicule ;
  - [A partir de 2001] Parc par âge, type de véhicule et type de motorisation (Diesel, essence, hybride rechargeable et électrique).
- **Pour les PL :**

- [1960-2000] Parc par catégorie véhicule et type de motorisation :
  - Poids-lourds rigides Diesel ;
  - Poids-lourds articulés Diesel ;
  - Poids-lourds essence.
- [A partir de 2001] Parc par catégorie de véhicule, type de motorisation et âge :
  - Poids-lourds rigides Diesel ;
  - Poids-lourds articulés Diesel ;
  - Poids-lourds essence ;
  - Poids-lourds électrique ;
  - Poids-lourds articulés électrique.
- **Pour les bus et cars :**
  - [1960-2000] : Parc pour l'ensemble des bus et cars ;
  - [A partir de 2001] : Parc par type de véhicule (bus et cars séparément), âge et type de motorisation (Diesel et électrique).

### Calcul du parc statique pour les 2 roues immatriculés en France

Le parc global de référence est celui établi par le CSNM [57] (jusqu'en 2005) et par l'officiel du cycle [387] (entre 2007 et 2011 inclus). Depuis 2012, il n'y a plus de données statistiques pour ce parc global (incluant les différentes catégories, i.e. 2-roues, mobylettes, motocyclettes, tricycles, quadricycles et voiturettes). Le parc de référence est donc établi en appliquant l'évolution du parc 2 roues issu des enquêtes de l'ONISR [546] 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].

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

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

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

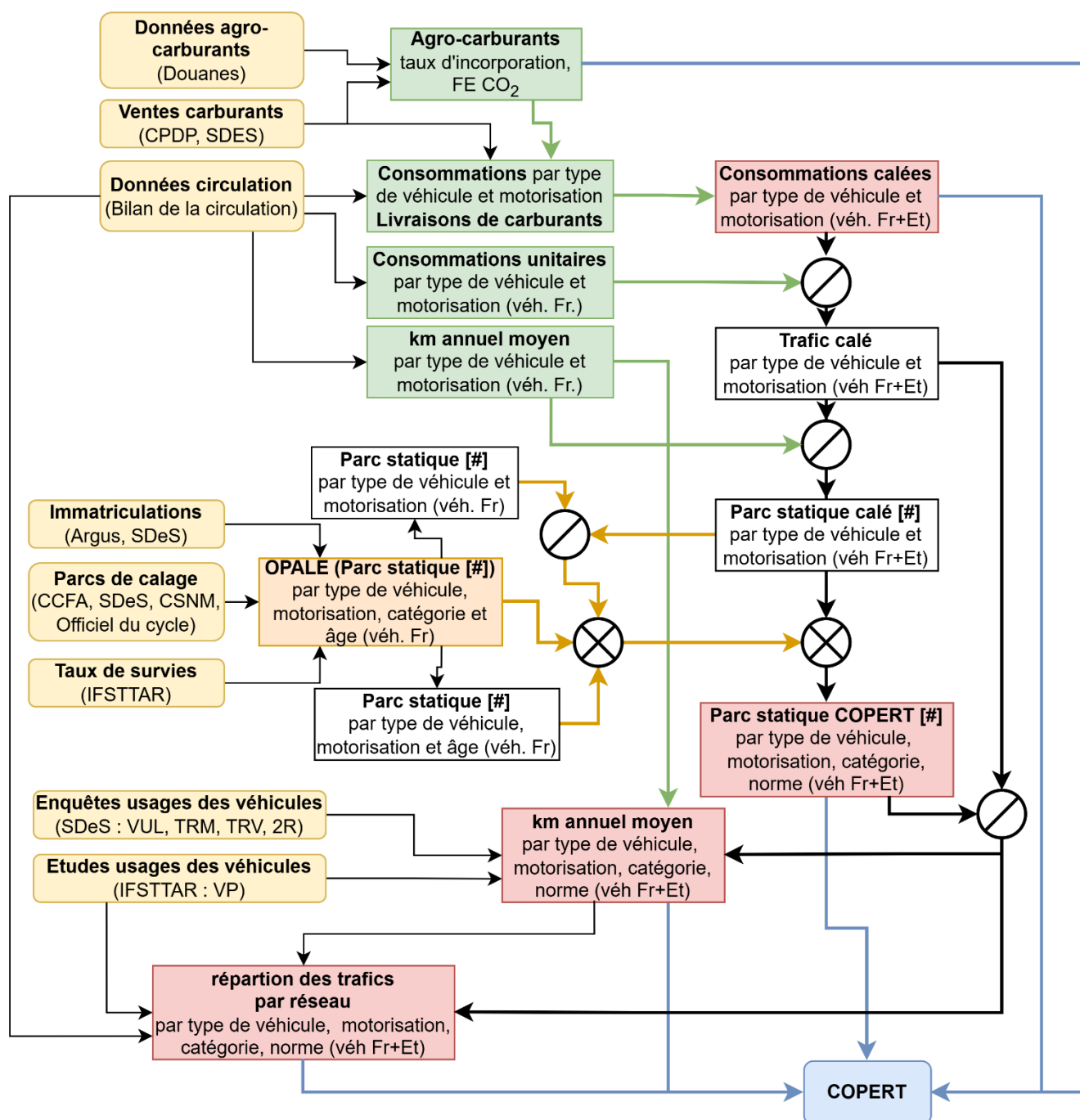
***Parc<sub>OPALE,mi-année</sub>***

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

La deuxième étape clé pour les calculs d'émission consiste à réaliser une série de traitements et de calculs afin d'obtenir, par année d'évaluation  $n$ , les données de base suivantes :

- Les consommations de carburants calées sur les ventes de carburant en France,
- Le parc statique des véhicules roulant sur la prise de carburant en France,
- Les distances annuelles parcourues par les véhicules,
- La répartition du trafic sur les trois réseaux (urbain, rural, autoroute).

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



### Les consommations de carburants calées sur les ventes en France

Pour les véhicules français et étrangers, les consommations de carburants calées sur les ventes en France hexagonale  $Conso_{calé,Fr+Et}$  par *type* et *moteur* sont estimées à partir des consommations sur le territoire hexagonal au même niveau de détail,  $Conso_{territoire,Fr+Et}$ , et du solde aux frontières *Solde* issues du bilan de la circulation<sup>3</sup> [31, 1141] :

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

- *type* = 2 roues, VP, VUL, PL, Bus et cars
- *moteur* = type de motorisation/carburant [Diesel, essence, électrique ou hybride rechargeable] ;

La différenciation entre les livraisons (ventes CPDP [14] auxquelles sont soustraits les usages non routiers) et les consommations sur le territoire français hexagonal [31, 1141] est nécessaire du fait des exigences liées aux spécifications du rapportage des émissions auprès des instances internationales.

En effet, les spécifications des inventaires d'émissions CCNUCC pour les gaz à effet de serre et CEE-NU pour les autres polluants atmosphériques requièrent, pour le transport routier, un calage énergétique sur les ventes de carburant plutôt que sur l'estimation des consommations de carburant sur le territoire national. Les chiffres de consommation de carburant du bilan de la circulation [31, 1141] sont des estimations de consommation sur le territoire français hexagonal (indépendamment du lieu d'achat du carburant, en France ou à l'étranger). C'est pourquoi, pour les inventaires d'émissions, ces chiffres de consommation de carburant par grand type de véhicules du bilan de la circulation [31, 1141] sont recalés sur les livraisons de carburant du transport routier. Ces dernières sont déterminées comme les livraisons de carburant auxquelles sont soustraites les consommations des usages non routiers estimées par le bilan de la circulation [31, 1141].

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

Le parc statique calculé précédemment  $Parc_{OPALE,mi-année}$  correspond aux véhicules immatriculés en France. Toutefois, puisque les ventes en France concernent aussi bien des véhicules français que des véhicules étrangers, il convient d'estimer le parc de véhicules français et étrangers roulant sur la prise de carburant en France, comme décrit ci-après.

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

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

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

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

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

<sup>3</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).

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

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

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

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

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

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

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

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

La distribution par âge du coefficient  $\alpha$  est définie par :

$$\alpha(type, moteur, âge) = \alpha_0(type, moteur)^{age_{max}-âge}$$

Où :

$age_{max}$  = longévité maximum des véhicules (30 ans pour VP, VUL, bus, cars et PL, 15 ans pour les 2 roues) ;

$\alpha_0$  est un paramètre déterminé de manière à respecter la contrainte globale  $\bar{\alpha}$ , selon un principe d'optimisation sous contraintes :

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

Cette définition garantit que :

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

Cette hypothèse ne s'applique qu'aux VP essence et Diesel, VUL essence et Diesel, PL Diesel et cars Diesel. L'hypothèse que les VP et les VUL GPL et GNV, les bus Diesel et GNV, les 2 roues ainsi que tous les véhicules de motorisation électrique sont des véhicules exclusivement français est prise en compte, soit  $\bar{\alpha} = 1$  et  $\alpha = 1$ .

#### Les distances annuelles parcourues par les véhicules

Les distances annuelles parcourues par les véhicules  $KMA_{FINAL}$ , exprimées en kilomètres, sont obtenues au même niveau de détail que le parc statique. Elles sont initialement fixées à partir de diverses études [31, 58, 311], et des règles logiques sont respectées, telles que la décroissance de ces distances en fonction de l'âge du véhicule [547, 548, 549, 550, 551]. Ensuite, un bouclage de ces valeurs sur les kilomètres parcourus issus des données statistiques  $KMA_{STAT}$  [31, 1141] est assuré par *type* et *moteur*. Pour la série récente hors 2-roues, depuis 2010, les données du bilan de la circulation [1141] présentent les kilomètres parcourus par *type*, *moteur* et *âge*.



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

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

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

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

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

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

Le trafic  $Trafic_{FINAL}$  au niveau fin résulte du produit entre  $Parc_{FINAL,Fr+Et}$ ,  $KMA_{FINAL}$  et la répartition en pourcentage  $\%Trafic_{STAT}$  de ce trafic sur les trois réseaux (urbain, rural, autoroute) *réseau*. Cette répartition est estimée à partir d'éléments relatifs présentés dans le rapport de l'IFSTTAR [547] et fait l'objet d'un recalage sur la répartition par réseau du bilan de la circulation [31, 1141], tous véhicules confondus.

Le trafic au niveau fin est défini par :

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

La répartition par réseau est ensuite appliquée :

$$\begin{aligned} Trafic_{FINAL}(type, moteur, classe, réseau) \\ &= Trafic_{FINAL}(type, moteur, classe) \times \%Trafic_{FINAL}(type, moteur, classe, réseau) \end{aligned}$$

Avec les contraintes de cohérence :

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

Et :

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

Où :

$$\sum_{réseau} \%Trafic_{STAT} = 1$$

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

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

#### Etape 3 : Calcul des émissions

Les méthodologies les plus fines de l'EMEP sont utilisées pour estimer les émissions. La méthodologie de rang 3 est utilisée pour les émissions à l'échappement [1281] et par évaporation [1419], tandis que la méthodologie de rang 2 est appliquée aux émissions liées à l'abrasion [1286]. Les données d'entrée utilisées sont celles mentionnées précédemment, qui sont également utilisées pour les calculs des autres types d'émissions (liées à l'utilisation des climatisations). Le processus détaillé ci-après est réalisé par année d'évaluation  $n$ .

#### Réalisation des balances énergétiques

Pour la réalisation des calculs de consommation de carburants, et de la balance énergétique par la suite, le calcul des consommations unitaires est d'abord réalisé selon la méthodologie de rang 3 de l'EMEP/EEA [1281] en fonction des vitesses associées au type de réseau  $vit$ , soit :

$$CU_{EMEP}(type, moteur, catégorie, âge, norme, vit)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

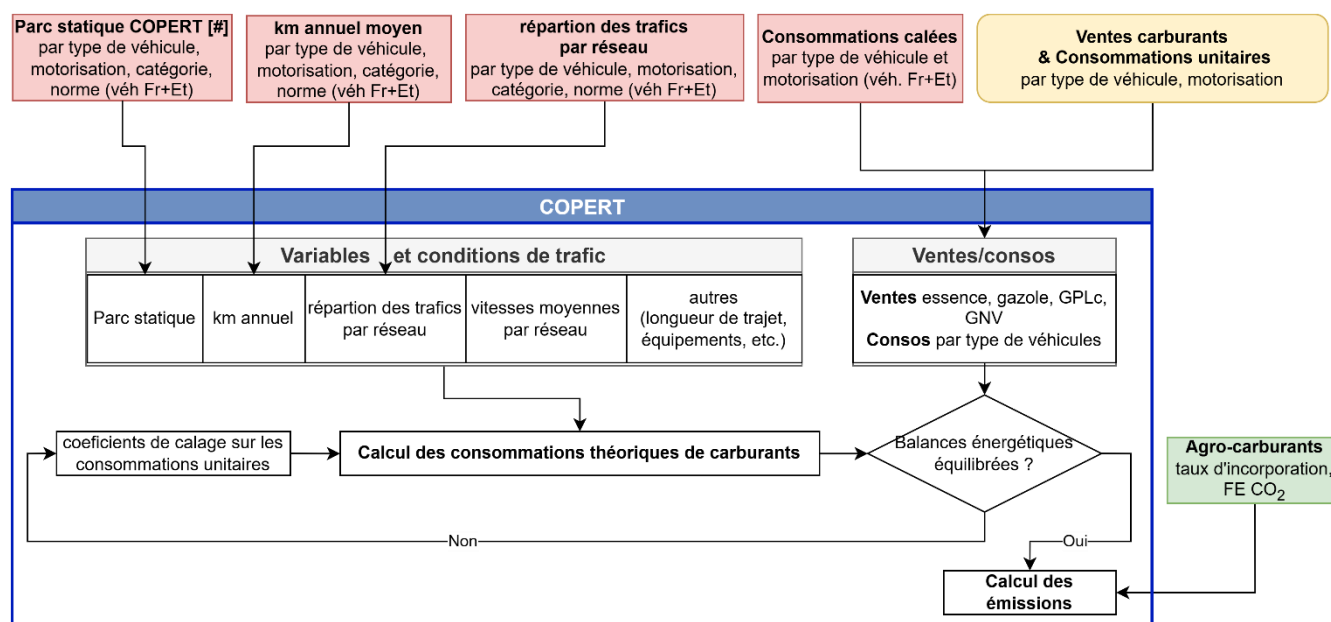
Et

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

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

Pour les années d'évaluation antérieures à 1990, les données de vente sont fournies de telle sorte que les  $Conso_{calé,Fr+Et}$  soient disponibles par  $moteur$ , la balance énergétique réalisée de manière agrégée, en cohérence avec ce niveau de détail. En outre, à défaut de données de  $CU_{STAT}$ , les coefficients de calage  $c_{calage}$  appliqués en 1990 sont conservés constants.

**Figure 4 : Logigramme de processus d'estimation des émissions par la méthodologie de rang 3 de l'EMEP/EEA pour le transport routier**



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

Dans un deuxième temps, la méthodologie EMEP/EEA permet d'estimer les émissions de certains polluants sur la base du jeu de paramètres déterminés. Des tests de sensibilité ont montré que l'incidence de la paramétrisation est relativement limitée du fait que les fourchettes plausibles de valeurs sont assez bien maîtrisées et que pour obtenir une balance énergétique équilibrée, l'incidence de la modification d'un paramètre nécessite généralement la modification d'un ou plusieurs paramètres dont l'effet sera antagoniste.

Les émissions de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) par évaporation, véhicule en fonctionnement, à l'arrêt ou au remplissage du réservoir sont aussi déterminées [1419].

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 dans les moteurs 4 temps 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 mobylettes à moteur 2 temps, l'hypothèse que l'huile est mélangée à l'essence à hauteur de 3 % en volume est retenue.

L'huile consommée contribue en tant qu'hydrocarbure aux émissions liées à la combustion de manière similaire aux carburants, à l'exception des métaux lourds pour lesquels les compositions différenciées des huiles et des combustibles sont prises spécifiquement en compte.

Les émissions relatives aux huiles des moteurs 2 temps sont rapportés dans le secteur du transport routier (1.A.3.b), alors que celles relatives aux huiles des moteurs 4 temps sont rapportés dans le secteur (NFR-2.G/CRT-2.D.1)

#### Calcul des émissions liées à l'abrasion

1/ Usure des plaquettes de freins et des pneus [499, 1281, 1186] :

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 ou de 10 ans maximum. 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

### Calcul des émissions liées à l'utilisation des climatisations

Cf. 2.F.1

### Outre-mer

Les données pour le calcul des émissions pour l'Outre-mer y compris les PTOM sont dérivées en partie des données de la France hexagonale 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 France hexagonale. Les ratios par grands types de véhicules entre les données de la France hexagonale et les données de l'Outre-mer sont appliqués à chaque catégorie de véhicule (norme – cylindrée/poids) du parc de la France hexagonale 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 EMEP/EEA [1281] correspondent à ceux de la France hexagonale. La balance énergétique est établie en utilisant les coefficients de calage des consommations unitaires des mêmes années d'évaluation que pour la France hexagonale. Des ajustements des kilométrages annuels moyens sont ensuite réalisés afin d'obtenir une balance énergétique équilibrée. Les émissions par territoire sont réparties au prorata des consommations de carburants dans chaque territoire.

# Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

## **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 France hexagonale.

L'estimation des émissions de CO<sub>2</sub> issues de la combustion des agro-carburants est réalisée en intégrant au modèle méthodologique EMEP/EEA [1281] 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 [1398], cf. section *OMINEA\_1A\_fuel emission factor*). La consommation d'huile des moteurs 2 temps est aussi prise en compte. Pour les agro-carburants, le détail des facteurs d'émission de CO<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 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.

**Tableau 3 : facteurs d'émissions de CO<sub>2</sub> par carburant utilisé dans le transport routier**

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 guide méthodologique EMEP/EEA [1281]. 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 guide méthodologique EMEP/EEA [1281].

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 guide méthodologique EMEP/EEA [1281].

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 guide méthodologique EMEP/EEA [1281, 1419].

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 guide méthodologique EMEP/EEA [1281].

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 guide méthodologique EMEP/EEA [1281].

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 guide méthodologique EMEP/EEA [1286, 1281].

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 guide méthodologique [1286] n'indique pas si ce sont des matières filtrables et/ou condensables.

#### Emissions de $PM_{10}$ , $PM_{2,5}$ , $PM_{1,0}$

Pour la combustion (des différents carburants)  $TSP = PM_{10} = PM_{2,5}$ .

Les  $PM_{1,0}$  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 :

**Tableau 4 : Proportions de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  et  $PM_{1,0}$  dans les TSP de l'abrasion**

	Pneus	Freins	Route
$PM_{10}/TSP$	60 %	98 %	50 %
$PM_{2,5}/TSP$	42 %	39 %	27 %
$PM_{1,0}/TSP$	6 %	10 %	-

#### Emissions de carbone suie (BC)

Pour la combustion les spéciations de BC (en %) par rapport aux émissions de  $PM_{2,5}$  sont les suivantes :

**Tableau 5 : Proportion de BC dans les émissions de  $PM_{2,5}$  de la combustion par type de véhicule et par norme**

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 %
<b>VP et VUL Diesel</b>		<b>Mobylette</b>	
Conventionnelle	55 %	Conventionnelle	10 %
Euro 1	70 %	Euro 1 et +	20 %
Euro 2	80 %	<b>Motocycles</b>	
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 :

**Tableau 6 : Proportion de BC dans les émissions de  $PM_{2,5}$  de l'abrasion**

	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 particulaires pour les abrasions [1281]. Les émissions de métaux lourds des combustibles et de l'huile [453, 1281] sont liées à la composition métallique des produits.

**Tableau 7 : Contenu en métaux lourds des huiles**

g/t	Moteur Essence	Moteur Diesel	Moteur GPLc =essence
<b>As</b>	-	-	-
<b>Cd</b>	5	5	5
<b>Cr</b>	4,5	12,5	4,5
<b>Cu</b>	17,5	9	17,5
<b>Hg</b>	-	-	-
<b>Ni</b>	5	5	5
<b>Pb</b>	15	30	15
<b>Se</b>	-	-	-
<b>Zn</b>	1 000	1 000	1 000

**Tableau 8 : Contenu en métaux lourds des carburants**

mg/t	Essence	Gazole	GNV
<b>As</b>	0,30	0,10	0,591
<b>Cd</b>	0,20	0,05	0,003
<b>Cr</b>	6,3	8,5	0,064
<b>Cu</b>	4,5	5,7	0,306
<b>Hg</b>	8,7	5,3	0,004
<b>Ni</b>	2,3	0,20	0,159
<b>Pb</b>	1,5	0,3	0,663
<b>Se</b>	0,20	0,10	0,002
<b>Zn</b>	33	18	0,074

**Tableau 9 : Contenu en métaux lourds des pneus, des freins et de la route**

ppm	Pneus [453,499]	Freins [1281]	Route [1281]
<b>As</b>	0,8	67,5	122
<b>Cd</b>	2,6	22,4	0
<b>Cr</b>	3,6	2 311	0
<b>Cu</b>	21,5	30 600	188
<b>Ni</b>	0	327	40,8
<b>Pb</b>	80,5	6 072	49,7
<b>Se</b>	20	20	0
<b>Zn</b>	9 000	8 676	4 000

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

Les facteurs d'émission de dioxines et furanes sont issus du guide méthodologique EMEP/EEA [1281].

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 guide méthodologique EMEP/EEA [1281].

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 guide méthodologique EMEP/EEA [1286] 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 guide méthodologique EMEP/EEA [1281].

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
24/01/2026	MaP	29/01/2026	JMA

# 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 / CRT	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)

- [31] Ministère chargé des Transports – Rapport annuel de la Commission des Comptes des Transports de la Nation (CCTN)
- [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
- [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
- [669] GIEC – Guidelines 2006, Volume 2, Chapitre 3
- [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] SDeS – Bilan annuel des transports - Edition annuelle
- [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
- [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
- [1345] SDeS, Memento statistique des transports ferroviaires 2019, <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/memento-de-statistiques-des-transports-2019>
- [1367] Édition annuelle du Jeu de données du transport ferroviaire de l'Autorité de régulation des transports, [https://ftp.autorite-transports.fr/ART\\_donnees\\_transport\\_ferroviaire.xlsx](https://ftp.autorite-transports.fr/ART_donnees_transport_ferroviaire.xlsx)
- [1368] Le Marché européen du transport ferroviaire en 2022, Autorité de Régulation des Transports, 2023

## Caractéristiques de la catégorie (communes au NID 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 gaz à effet de serre / polluants atmosphériques liés à l'utilisation de l'énergie, les émissions liées à la production d'électricité étant comptabilisées au lieu de la production.

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

Depuis 2011, le gazole non-routier (GNR) remplace le gazole dans le ferroviaire qui lui-même a remplacé le fioul domestique en 2006. Ces trois combustibles ont quasiment les mêmes caractéristiques physiques (excepté pour le soufre), mais sont assujettis à une fiscalité différente.

Le GNR (à partir de 2011) et le gazole (à partir de 2006) ont permis l'incorporation d'agro-carburants.

Le transport ferroviaire n'a lieu qu'en France hexagonale.

Tous les types de véhicules (électriques et Diesel) sont considérés dans l'estimation des émissions dues à l'usure du matériel.

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

### **Introduction**

Le parc de matériel en exploitation n'est pas connu avec précision, une méthodologie simplifiée est ainsi utilisée. Les consommations de combustibles des locomotives et des locotracteurs sont estimées à partir des données du CPDP [14], de la dernière édition (2019) du memento statistique du SDES [1345] et du bilan de la circulation [31, 1141].

Les émissions réglementées de CO, COVM, NOx et PM en particulier, sont estimées à partir de la structure du parc de matériel, ventilée par norme des engins mobiles non routier (EMNR) pour chaque année. L'évolution de cette structure est théorique et tient compte d'un taux de renouvellement du matériel de 5 % par an.

Pour les émissions dues à l'usure des matériels, les longueurs des parcours sont déterminées ainsi :

- Pour les trains à traction électrique :
  - de 2006 à 2018, à partir
    - des consommations électriques unitaires issues :
      - des éditions 2010 et 2011 du CPDP [14] pour les années 2006 à 2011,
      - d'une interpolation linéaire entre la valeur de 2011 et la valeur 2019 déduite ci-dessous.
    - et de la consommation d'électricité issues :
      - du Memento statistique des transports ferroviaires de 2019 [1345] de 2006 à 2010,
      - du Bilan annuel des transports [1141] pour les années à partir de 2011.

- en 2019, à partir de la répartition du parcours total en train.km de l'ART [1368].
- depuis 2020, en sommant les parcours des trains de marchandises électriques et de voyageurs électriques issus des parcours totaux de fret et voyageurs du bilan de la circulation [1141], ainsi que des parts de traction électrique pour le fret et les trains de voyageurs de l'ART [1367].
- Pour les trains à traction thermique :
  - de 2006 à 2019, en déduisant les parcours électriques calculés ci-dessus des parcours totaux issus du bilan de la circulation [1141] ;
  - depuis 2020, en sommant les parcours des trains de marchandises et de voyageurs thermiques issus des parcours totaux de fret et voyageurs du bilan de la circulation [1141], desquels sont retranchés respectivement les parcours électriques des trains de marchandises et voyageurs à traction électrique calculés ci-dessus.

## Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

### **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>**

Du fait de l'assimilation du moteur des locomotives Diesel au moteur des poids lourds routiers conventionnels<sup>4</sup>, i.e. sans post-traitement, le facteur d'émission tiré de la section routier du guide méthodologique EMEP/EEA [1281] () est utilisé. La valeur moyenne pour tous les équipements est de 10,6 g/GJ.

Le facteur d'émission pris en compte est issu d'une pondération (1/3 de chaque réseau) des facteurs d'émissions urbain (175 mg/km), route (80 mg/km) et autoroute (70 mg/km) des poids lourds conventionnels du transport routier (tirés du guide méthodologique EMEP/EEA, table 3.47 [1281]).

Ce facteur d'émission est ramené en énergie en considérant une consommation unitaire des PL de 240 g/km (tirés du guide méthodologique EMEP/EEA, table 3.15 [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)<sup>4</sup>.

Le facteur d'émission pris en compte est issu des facteurs d'émissions urbain, route et autoroute (30 mg/km) des poids lourds conventionnels du transport routier (tirés du guide méthodologique EMEP/EEA, table 3.65 [1281]).

---

<sup>4</sup> 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).



Ce facteur d'émission est ramené en énergie en considérant une consommation unitaire des PL de 240 g/km (tirée du guide méthodologique 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, et plus précisément les poids lourds conventionnels).

Les valeurs par défaut des lignes directrices GIEC 2006 [669] (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 guide méthodologique EMEP/EEA [1285]. Les facteurs d'émissions évoluent selon les directives appliquées aux motorisations ferroviaires au fil du temps ([141, 1029, 1209]). Les valeurs sont :

**Tableau 10 : facteurs d'émission de NO<sub>x</sub> pour le ferroviaire par type d'engin et par norme**

NO <sub>x</sub> (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 guide méthodologique EMEP/EEA [1285]. Les facteurs d'émissions évoluent selon les directives appliquées aux motorisations ferroviaires au fil du temps ([141], [1029], [1209]). Les valeurs sont :

**Tableau 11 : facteurs d'émission de COVNM pour le ferroviaire par type d'engin et par norme**

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 guide méthodologique EMEP/EEA [1285]. Les facteurs d'émissions évoluent selon les directives appliquées aux motorisations ferroviaires au fil du temps ([141], [1029], [1209]). Les valeurs sont :

**Tableau 12 : facteurs d'émission de CO pour le ferroviaire par type d'engin et par norme**

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 NH<sub>3</sub>

Les émissions sont estimées au moyen du facteur d'émission spécifique tiré du guide méthodologique 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 et des rails pour toutes les motorisations, ainsi que 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 guide méthodologique EMEP / EEA [1285]. Les facteurs d'émissions évoluent selon les directives appliquées aux motorisations ferroviaires au fil du temps ([141], [1029], [1209]).

Pour les particules totales en suspension (TSP), les facteurs d'émission sont :

**Tableau 13 : facteurs d'émission de TSP pour le ferroviaire par type d'engin et par norme**

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>, qui représentent 95 % [1285] des émissions de TSP, les facteurs d'émission sont :

**Tableau 14 : facteurs d'émission de PM<sub>10</sub> pour le ferroviaire par type d'engin et par norme**

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 % [1285] des émissions de PM<sub>10</sub>, les facteurs d'émission sont :

**Tableau 15 : facteurs d'émission de PM<sub>2,5</sub> pour le ferroviaire par type d'engin et par norme**

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 guide méthodologique [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 et des rails de toutes les motorisations, ainsi que 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].

**Tableau 16 : facteurs d'émission de TSP pour l'abrasion des freins d'une part et pour le contact rails-roues pour le ferroviaire**

(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].

**Tableau 17 : proportion de PM<sub>10</sub> et de PM<sub>2,5</sub> dans les émissions de TSP pour le ferroviaire par type d'abrasion**

En % TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
Abrasion freins	32	15
Abrasion rails	50	15
Abrasion roues	50	15
Abrasion caténaires	100	15

Pour l'abrasion, R. Ballaman [181] n'indique pas si ce sont des matières 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 guide méthodologique 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 matières filtrables et condensables.

### Abrasion

Les émissions de BC sont calculées à partir d'une spéciation des émissions de  $PM_{2,5}$  uniquement pour l'usure des freins. Le ratio appliqué provient du guide méthodologique EMEP/EEA sur les inventaires d'émissions de polluants [1286]. Le ratio appliqué est de 2,6 % de  $PM_{2,5}$ .

Pour l'abrasion, le guide méthodologique [1286] n'indique pas si ce sont des matières 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 caténaires 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 guide méthodologique 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 guide méthodologique 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), tels que calculés dans la section Transport routier pour les poids lourds Diesel, en mg/t, à partir des facteurs d'émission en mg/GJ tirés du guide méthodologique EMEP/EEA [1281].

**Tableau 18 : facteurs d'émission des HAP pour les émissions de la combustion du ferroviaire**

HAP	BaP	BbF	BkF	IndPy	BghiPe	BaA	BahA	FluorA	HAP Autres
mg/t	2,88	5,27	1,80	6,17	17,4	5,03	0,0599	109	654

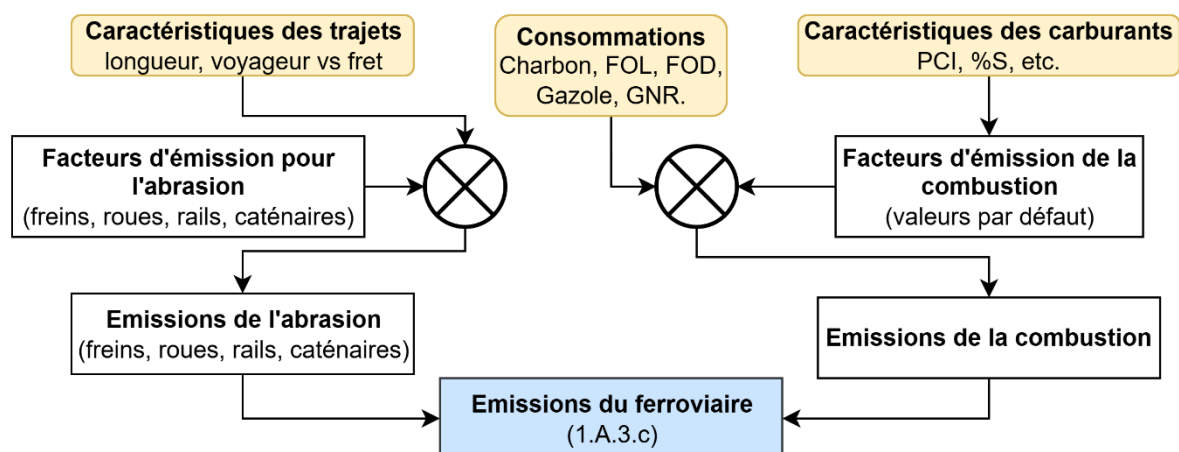
### **Polychlorobiphényles (PCB)**

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 1,066 ng/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 guide méthodologique 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 guide méthodologique EMEP/EEA [1281]) et des PCI des combustibles.

Figure 5 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du ferroviaire.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
14/01/2026	GK	14/01/2026	JMA

# 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 /CRT	1.A.3.d (partiellement) et 1.D.1.b (partiellement)
CEE-NU /NFR	1.A.3.d.i(ii), 1.A.3.d.ii (partiellement) et 1.A.5.b (partiellement) et 1.A.3.d.i(i)
Citepa /SNAPc	08.03.01 à 08.03.04
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 :

Rang 1.

## Références utilisées :

- [14] CPDP – Pétrole (publication annuelle)
- [31] Ministère chargé 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.
- [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 polluantes 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 NID 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).

L'estimation des consommations et les facteurs d'émission utilisés étant différents, ces deux activités sont considérées séparément :

- **Les consommations de carburant des bateaux de plaisance & autres usages.** Les consommations sont estimées à partir des données du bilan de la circulation [31, 1141] qui fournit les consommations attribuées à la plaisance et autres engins. Le parc d'engins à motorisation essence est reparti entre 25 % de moteurs 2 temps et 75 % de moteurs 4 temps [183].
  - **Gazole :** Les consommations de gazole dues aux trafics des bateaux de plaisance sont calculées en déduisant du total donné par le bilan de la circulation [31, 1141] (ligne « divers »), la consommation de gazole attribué aux engins du secteur résidentiel/tertiaire et à la consommation de gazole du secteur ferroviaire. A noter que le secteur ferroviaire n'est inclus dans ces statistiques que sur la période 2006-2010 car jusqu'en 2005 le ferroviaire utilisait du fioul domestique (FOD) et, à partir de 2011, du gazole non-routier (GNR), ces deux combustibles n'entrant pas dans le champ « gazole routier » du bilan de la circulation.

- **Essence** : Les consommations d'essence dues aux trafics des bateaux de plaisance sont calculées en déduisant du total donné par du bilan de la circulation [31, 1141] (ligne « divers »), les consommations d'essence attribuées aux engins des secteurs résidentiel/tertiaire et agriculture/sylviculture. La consommation d'huile des moteurs 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 du transport de marchandises du bilan annuel des transports [31, 1141]. Elles sont fournies en tonnes x kilomètres attribuées d'une part au transport domestique et d'autre part au transport international. Les consommations sont calculées par la multiplication de ces données d'activité par l'intensité énergétique. Cette dernière donnée est exprimée en tonne de carburant consommé par tonnes x kilomètres de marchandise transportée. Ceci est obtenu en faisant évoluer les ratios entre les consommations de carburant en tonnes fournies jusqu'à l'année 1998 par le CPDP [14] et les données de trafic (en tonnes x kilomètres) du transport de marchandises [31, 1141]. Les engins mis en œuvre sont supposés utiliser comme carburant :
  - **Fioul domestique (FOD)** : Le FOD est utilisé jusqu'en septembre 2011 (l'hypothèse prise en compte est que deux tiers de la consommation totale en 2011 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 NID et à l'IIR) :

Les émissions sont calculées à partir des consommations de carburants et de facteurs d'émissions uniformes par type de carburant.

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.

## Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

### **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, tant pour la plaisance que le transport fluvial. Les facteurs d'émission moyens pour des engins à moteur Diesel et à moteur essence (2 et 4-temps) sont calculés par année à partir des références EMEP [105, 1280] et des réglementations évolutives [141, 376, 522, 1029, 1209], cf. base de données OMINEA.

### **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 guide méthodologique EMEP/EEA [1280]. La valeur est de 0,164 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> et BC**

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 :

**Tableau 19 : proportion de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>1,0</sub> dans les émissions de TSP de la plaisance et du fluvial**

Spéciation de particules % répartition des PM totales	Gazole/FOD/GNR	Essence
PM <sub>10</sub>	95	99
PM <sub>2,5</sub>	90	84
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 guide méthodologique 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 dans l'essence utilisée par les bateaux de plaisance 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.

**Tableau 20 : facteurs d'émission des HAP pour les émissions de la combustion du fluvial et de la plaisance**

HAP	BaP	BbF	BkF	IndPy	BghiPe	BaA	BahA	FluorA	HAP Autres
mg/GJ	1,315	1,523	1,325	1,172	2,769	1,251	0,258	17,68	375,0

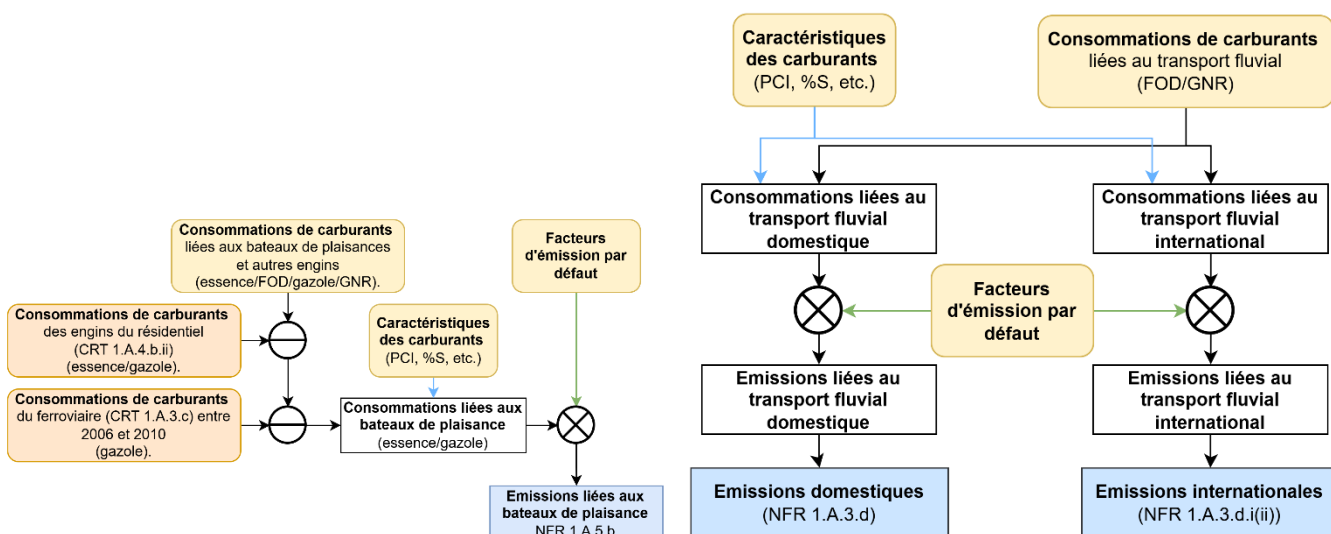
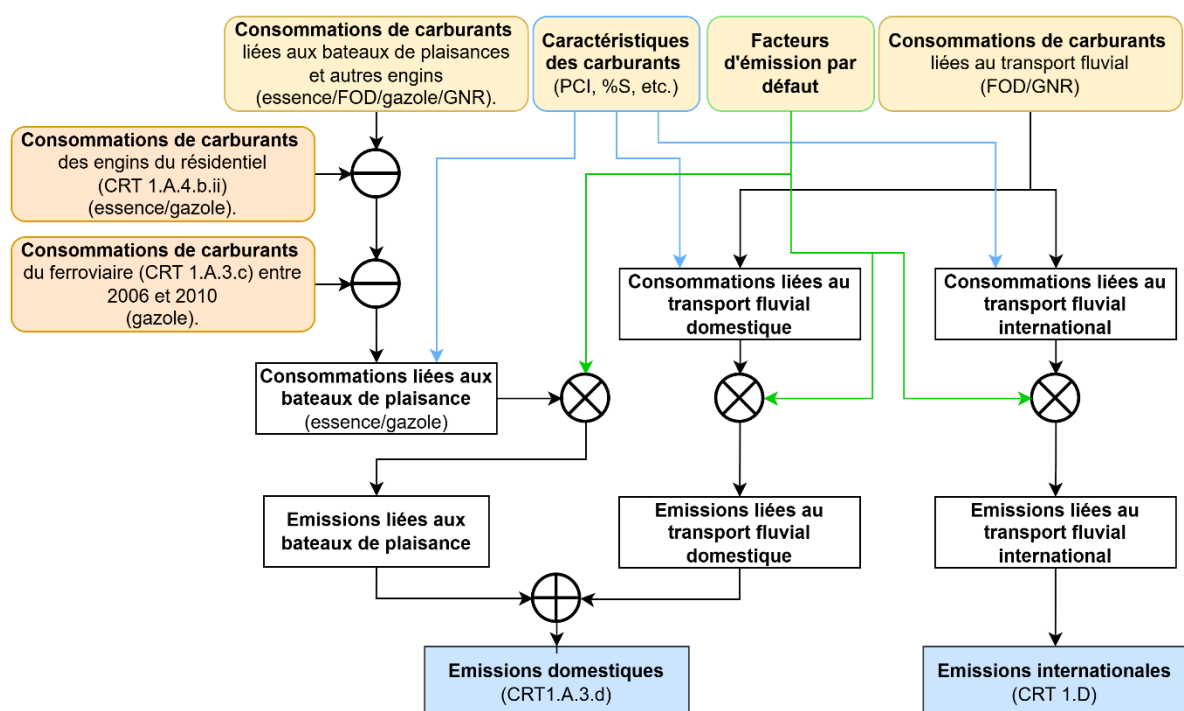
### **Polychlorobiphényles (PCB)**

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.

Figure 6 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du fluvial et de la plaisance.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
26/01/2026	MP	29/01/2026	JMA

# 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 /CRT	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.

## Références utilisées :

[14] CPDP – Pétrole (publication annuelle)

[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

- [666] Bilan de l'énergie Outre-mer annuel compilé par le CITEPA
- [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)
- [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
- [1339] LLOYD'S – Base de données Fairplay, flotte et caractéristiques techniques des navires, 2019
- [1340] Directive 2005/33/CE du Parlement européen et du Conseil du 6 juillet 2005 modifiant la directive 1999/32/CE en ce qui concerne la teneur en soufre des combustibles marins

## Caractéristiques de la catégorie (communes au NID 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 ou la nationalité de l'armateur ne sont pas des critères déterminant le pays auquel les émissions sont affectées.

L'activité de transport maritime est caractérisée par la consommation de combustibles. Bien que cette dernière diffère selon le type de navire, sa jauge brute et les diverses phases de navigation (croisière, approche/manœuvre, stationnement dans les ports), les inventaires nationaux s'appuient actuellement sur la consommation totale de chacun des combustibles. Une distinction plus fine selon les paramètres cités ci-dessus est certainement plus pertinente vis-à-vis des émissions d'une zone particulière telle qu'un port, un estuaire, une liaison, etc. Il est à noter que le trafic maritime est décorrélié des ventes de carburants. En effet, beaucoup de navires peuvent faire escale dans un port français sans avitailler.

Le CPDP [14] communiquait chaque année pour la France hexagonale, jusqu'en 2022, les consommations de Diesel marine léger (DML) et de fioul lourd (FOL) des soutes françaises d'une part et étrangères d'autre part. Depuis 2023, seul le total

agrégé composé des soutes de DML et des avitaillements en gazole pêche (GOP) est publié. De plus, pour tous les carburants marins, il n'y a plus la distinction du pavillon. La même référence renseigne les soutes pour les Régions Ultrapériphériques (RUP) de l'Union Européenne et les Pays et territoires d'Outre-Mer (PTOM) hors UE<sup>5</sup>. Il est utile de rappeler que :

- Les soutes, communiquées seules jusqu'en 2022, n'incluent pas les avitaillements sous douane destinés aux bateaux de pêche, aux caboteurs ainsi qu'aux engins et matériels flottants (avitaillements en GOP pour les bateaux de pêche et en essence pour les engins portuaires) ;
- La distinction entre les soutes françaises et étrangères est établie en fonction du pavillon du navire, sachant que les navires étrangers autorisés à transporter pour le compte d'affréteurs français sont pris en compte avec les soutes françaises.

La DIMAH [167] et le bilan de l'énergie [666] fournissent des données équivalentes pour les RUP de l'UE et PTOM hors UE.

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

Pour les RUP de l'Union Européenne<sup>6</sup>, 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 [666] et après consultations des observatoires d'énergie locaux. Ces valeurs sont les suivantes :

**Tableau 21 : ratios de ventes de carburants marins pour le trafic domestique dans les RUP de l'UE**

<b>Guadeloupe</b>	<b>100 %</b>	<b>Martinique</b>	<b>100 %</b>	<b>La Réunion</b>	<b>50 %</b>
<b>Guyane</b>	<b>50 %</b>	<b>Mayotte</b>	<b>31 %</b>	<b>Saint-Martin</b>	<b>100 %</b>

En ce qui concerne les années à partir de 2021, une nouvelle activité de soutage à destination des pavillons français a débuté en Guadeloupe. Pour l'instant, étant donné que le Citepa ne dispose pas d'indication sur la destination de ce soutage (trafic domestique ou international), seules des parts variant selon l'année entre 5 et 16 % de la consommation totale de FOL ont été attribuées au trafic domestique depuis 2021, afin de maintenir constante la consommation du trafic domestique par rapport à 2020 en attendant d'obtenir plus d'informations sur cette activité.

De même pour les PTOM hors UE, les valeurs sont les suivantes :

**Tableau 22 : ratios de ventes de carburants marins pour le trafic domestique dans les PTOM (hors UE)**

<b>Nouvelle-Calédonie</b>	<b>100 %</b>	<b>Saint-Pierre-et-Miquelon</b>	<b>50 %</b>	<b>Wallis-et-Futuna</b>	<b>50 %</b>
<b>Polynésie française (FOL)</b>	<b>0 %</b>	<b>Polynésie française (FOD)</b>	<b>100 %</b>	<b>Saint-Barthélemy</b>	<b>100 %</b>

*Procédure bottom-up de discernement des ventes relatives au trafic maritime domestique et trafic maritime international pour la France hexagonale*

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

- La part des « soutes maritimes françaises » (c'est-à-dire à destination des pavillons français) ,

<sup>5</sup> Hors TAAF : Les Terres australes et antarctiques françaises.

<sup>6</sup> Les collectivités territoriales de Guyane, Martinique et Mayotte, les départements/régions de Guadeloupe et de La Réunion, et la collectivité d'Outre-Mer de Saint-Martin.

- La part des « soutes maritimes étrangères » (c'est-à-dire à destination des pavillons étrangers)

dont les consommations de carburant correspondent à des liaisons entre deux ports français (cabotage ou escale technique).

En 2016, lors de la revue<sup>7</sup> de l'inventaire français des émissions de gaz à effet de serre, la CCNUCC a demandé que le ratio de consommation domestique des soutes soit mis à jour (régulièrement). Depuis 2023, l'accès à des données AIS<sup>8</sup> (positionnement des navires) couvrant les années 2018 et 2019, et à des données de la Llyod's [1339] (caractéristiques techniques des navires), via le Cerema avec l'autorisation de la Direction Générale des Affaires Maritimes, de la Pêche et de l'Aquaculture (DGAMPA), a ouvert la possibilité d'un calcul ascendant très détaillé des consommations des différents carburants utilisés par les navires réalisant des trajets domestiques et internationaux à destination et en provenance de la France hexagonale.

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

Il y a deux sortes de trajectoires domestiques :

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

Dans le cadre de l'inventaire national, toutes les trajectoires appartenant au premier point ci-dessus ont été gardées pour les calculs. Celles de la deuxième catégorie ont été conservées uniquement si le nombre de trajets domestiques effectués par le navire est au moins dix fois supérieur à son nombre de trajets internationaux, et que la distance parcourue lors des premiers est au moins dix fois supérieure à celle parcourue lors des seconds. Cette hypothèse a été prise de façon à choisir un maximum de trajectoires correspondant à des avitaillements en France, et un minimum à des avitaillements à l'étranger, et ainsi pouvoir comparer les consommations calculées aux ventes des soutes. Choisir uniquement les trajectoires de la première catégorie exclue un nombre de trajectoire trop important.

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

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

Avec :

- *nav* : type de navire ;
- *mot* : motorisation (e.g. SSD, MSD, HSD, etc.) ;
- *moteur* : type de moteur (principal, auxiliaire, chaudière) ;

<sup>7</sup> arrfra\_2016\_to Party for comments.pdf: ID E.25. "The ERT encourages France to conduct a new study to update the split between domestic and international navigation in the fuel sold in metropolitan France and in the overseas territories"

<sup>8</sup> Automatic Identification System : Système d'Authentification Automatique. Données fournies par le Cerema avec accord de la DGAMPA

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

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

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

Tableau 23 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon, en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord est une SECA.

Année	Carburant	DML			FOL			GNL	Total
	Pavillon	Français	Étranger	Total	Français	Étranger	Total		
2018	Consommations (t)	98 631	26 713	125 343	85 377	52 516	137 893	-	263 236
	Ventes (t)	78 400	84 900	163 300	242 300	1 603 200	1 845 500	-	2 008 800
	<b>Ratio consos/ventes</b>	<b>126 %</b>	<b>31 %</b>	<b>77 %</b>	<b>35 %</b>	<b>3,3 %</b>	<b>7,5 %</b>	<b>*</b>	<b>13 %</b>
2019	Consommations (t)	102 334	23 650	125 984	86 104	65 052	151 156	682	277 822
	Ventes (t)	65 900	77 400	143 300	191 100	1 428 100	1 619 200	-	1 762 500
	<b>Ratio consos/ventes</b>	<b>155 %</b>	<b>31 %</b>	<b>88 %</b>	<b>45 %</b>	<b>4,6 %</b>	<b>9,3 %</b>	<b>*</b>	<b>16 %</b>
Total	Consommations (t)	200 965	50 363	251 327	171 481	117 568	289 049	-	540 376
	Ventes (t)	144 300	162 300	306 600	433 400	3 031 300	3 464 700	-	3 771 300
	<b>Ratio consos/ventes</b>	<b>139 %</b>	<b>31 %</b>	<b>82 %</b>	<b>40 %</b>	<b>3,9 %</b>	<b>8,3 %</b>	<b>*</b>	<b>14 %</b>

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

Même si pour les navires battant pavillon français, les consommations de DML sont plus importantes que les ventes de 39 %, il est considéré par la suite que la totalité des ventes est affectée à des trajets domestiques pour prendre en compte les incertitudes du calcul et le fait que des navires peuvent utiliser du FOL en utilisant des scrubbers dans la zone SECA (zone de contrôle des émissions de soufre) Manche/Mer du Nord.

Le Tableau 24 récapitule les hypothèses prises pour attribuer une partie des ventes de carburants aux consommations lors des trajets domestiques et internationaux. Les ratios s'appliquent aux ventes pour les pavillons français et aux ventes pour les pavillons étrangers. Ces ratios s'appliquent à partir de l'année 2015, date à laquelle la Manche/Mer du Nord est devenue une zone SECA. Dans cette zone, les navires doivent utiliser un carburant dont la teneur en soufre ne dépasse pas 0,1 %.

Tableau 24 : Part des ventes attribuable aux trafics domestique et international, pour les années à partir de 2015

Carburant	DML		FOL		LNG	
	Pavillon	Français	Étranger	Français	Étranger	Étranger
Ratio consommations/ventes 2018 – 2019		139 %	31 %	40 %	3,9 %	0 %
% des ventes pour le trafic domestique		100 % <sup>(1)</sup>	30 % <sup>(2)</sup>	40 % <sup>(3)</sup>	5 % <sup>(4)</sup>	0 %
% des ventes pour le trafic international		0 %	70 %	60 %	95 %	100 %

<sup>(1)</sup> 100 % : l'inventaire national étant fondé sur les ventes effectuées en France, le ratio consommations/ventes est plafonné à 100 % des ventes

<sup>(2)</sup> 30 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 31 %

<sup>(3)</sup> 40 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 40 %

<sup>(4)</sup> 5 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 3,9 %



Comme indiqué ci-dessus, la zone SECA Manche/Mer du Nord n'est devenue une SECA que le 1<sup>er</sup> janvier 2015. Les ratios ci-dessus ne sont donc pas applicables aux ventes de carburants avant cette date. Pour calculer de nouveaux ratios, et sans avoir accès aux mêmes données (AIS et Llyod's) pour une année avant 2015, il a été décidé de refaire le calcul sur ces mêmes données (années 2018 et 2019) en considérant la zone Manche/Mer du Nord comme n'étant pas une SECA. Cela signifie que les navires pouvant utiliser du fioul lourd le font<sup>9</sup> dans cette zone.

**Tableau 25 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord n'est pas une SECA.**

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

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

Le Tableau 26 récapitule les hypothèses prises pour attribuer une partie des ventes de carburants aux consommations lors des trajets domestiques pour les années entre 2010 et 2014.

**Tableau 26 : Part des ventes attribuable aux trafics domestique et international, pour les années de 2010 à 2014**

Carburant	DML		FOL		LNG	
	Pavillon	Français	Étranger	Français	Étranger	Étranger
% des ventes pour le trafic domestique		100 % <sup>(1)</sup>	25 % <sup>(2)</sup>	40 % <sup>(3)</sup>	5 % <sup>(4)</sup>	0 %
% des ventes pour le trafic international		0 %	75 %	60 %	95 %	100 %

<sup>(1)</sup> 100 % : l'inventaire national étant fondé sur les ventes effectuées en France, le ratio consommations/ventes est plafonné à 100 % des ventes

<sup>(2)</sup> 25 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 27,6 %

<sup>(3)</sup> 40 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 42 %

<sup>(4)</sup> 5 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 4,1 %

Les données du Tableau 26 ne sont applicables qu'entre 2010 et 2014, car une directive européenne [1340] impose aux navires d'utiliser un carburant avec une basse teneur en soufre lorsqu'ils restent plus de 2 h à quai dans les ports depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2010. Les ratios ci-dessus ne sont donc pas applicables aux ventes de carburants avant cette date. Pour calculer de nouveaux ratios, et sans avoir accès aux mêmes données (AIS et Llyod's) pour une année avant 2010, il a été décidé de refaire le calcul sur ces mêmes données (années 2018 et 2019), en considérant la zone Manche/Mer du Nord comme n'étant pas une SECA, et en considérant que les navires ne changent pas de carburant quand ils sont à quai plus de 2 h. Cela signifie que les navires pouvant utiliser du fioul lourd le font dans ces 2 cas.

**Tableau 27 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord n'est pas une SECA et que les navires restant plus de 2 h à quai ne changent pas de carburant.**

Année	Carburant	DML			FOL			GNL	Total
	Pavillon	Français	Étranger	Total	Français	Étranger	Total		
2018	Consommations (t)	53 303	9 873	63 176	130 705	69 356	200 060	0	263 236
	Ventes (t)	78 400	84 900	163 300	242 300	1 603 200	1 845 500	0	2 008 800

<sup>9</sup> Néanmoins la directive européenne [1340] reste applicable pour les années entre 2010 et 2014.

Année	Carburant Pavillon	Français	DML Étranger	Total	Français	FOL Étranger	Total	GNL	Total
	<b>Ratio consos/ventes</b>	<b>68 %</b>	<b>12 %</b>	<b>39 %</b>	<b>54 %</b>	<b>4,3 %</b>	<b>11 %</b>	<b>0</b>	<b>13 %</b>
<b>2019</b>	Consommations (t)	57283	9592	66875	131155	79110	210265	682	277 823
	Ventes (t)	65 900	77 400	143 300	191 100	1 428 100	1 619 200	0	1 762 500
	<b>Ratio consos/ventes</b>	<b>87 %</b>	<b>12 %</b>	<b>47 %</b>	<b>69 %</b>	<b>5,5 %</b>	<b>13 %</b>	<b>0</b>	<b>16 %</b>
<b>Total</b>	Consommations (t)	110 586	19 465	130 051	261 859	148 466	410 325	-	540 377
	Ventes (t)	144 300	162 300	306 600	433 400	3 031 300	3 464 700	-	3 771 300
	<b>Ratio consos/ventes</b>	<b>77 %</b>	<b>12 %</b>	<b>42 %</b>	<b>60 %</b>	<b>4,9 %</b>	<b>12 %</b>	<b>*</b>	<b>14 %</b>

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

Le Tableau 28 récapitule les hypothèses prises pour attribuer une partie des ventes de carburants aux consommations lors des trajets domestiques pour les années avant 2010.

**Tableau 28 : Part des ventes attribuable aux trafics domestique et international, pour les années avant 2010**

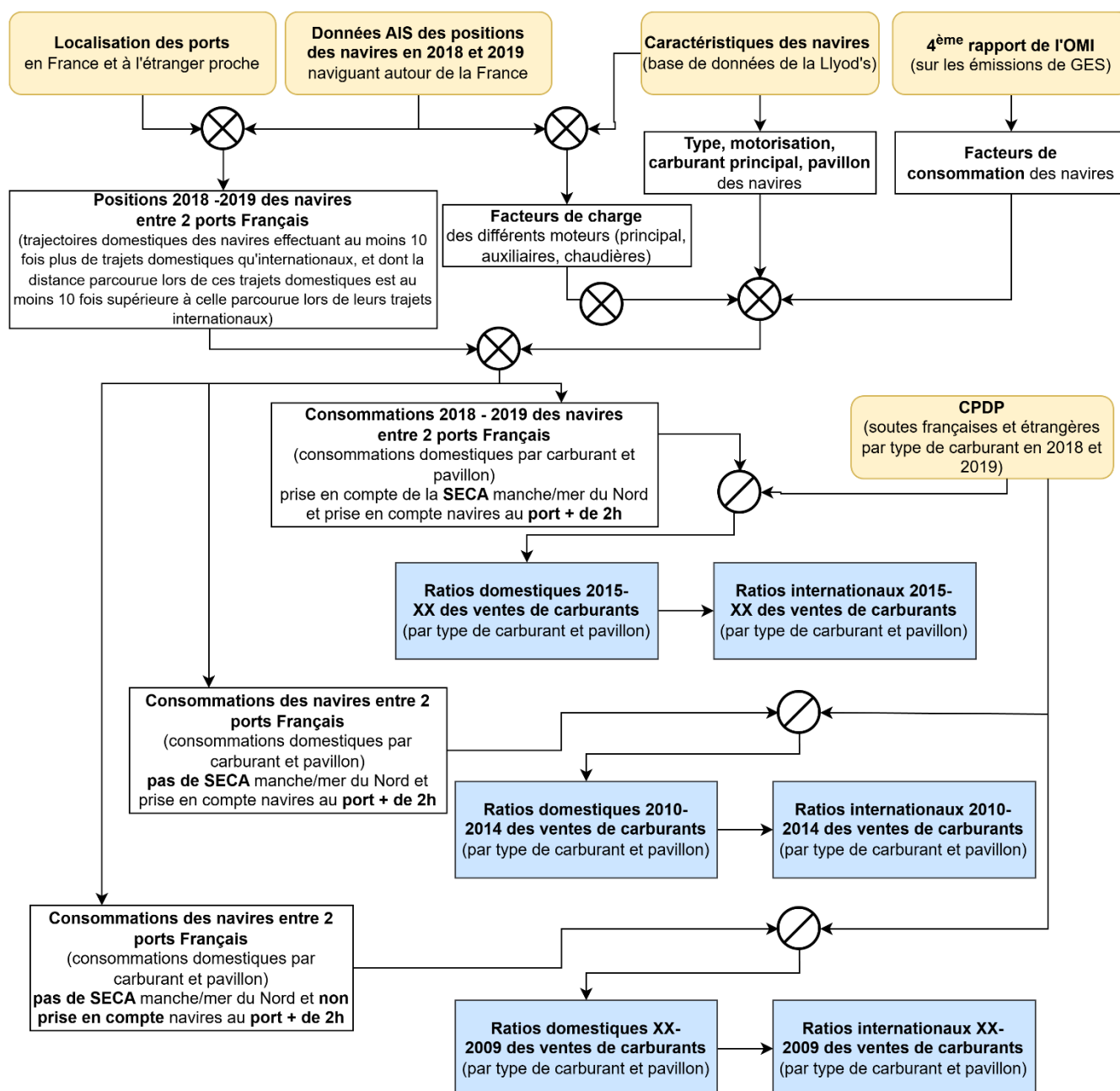
Carburant Pavillon	DML		FOL		LNG	
	Français	Étranger	Français	Étranger	Français	Étranger
% des ventes pour le trafic domestique	75 % <sup>(1)</sup>	10 % <sup>(2)</sup>	60 %	5 % <sup>(3)</sup>	0 %	0 %
% des ventes pour le trafic international	25 %	90 %	40 %	95 %	100 %	100 %

<sup>(1)</sup> 75 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 77 %

<sup>(2)</sup> 10 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche 12 %

<sup>(3)</sup> 5 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 4,9%

**Figure 7 : logigramme de détermination des ratios de ventes de soutes maritimes à destination des trafics domestiques et internationaux**



*Procédure bottom-up de discernement des consommations d'huile relatives au trafic maritime domestique et trafic maritime international pour la métropole*

Les données de consommations d'huile dans le secteur maritime sont extraites du bilan annuel du CPDP [14]. L'huile utilisée dans les moteurs a pour rôle de lubrifier et refroidir les différents organes du moteur et de la transmission. Cependant, tout (moteurs 2-temps) ou partie (moteurs 4-temps) de cette huile est brûlée dans la chambre de combustion générant ainsi des émissions.

La part des motorisations fonctionnant selon un cycle deux ou quatre temps est estimée à partir d'un croisement entre :

- Le pourcentage de puissance installée des moteurs principaux par type de moteur, catégorie de navire et carburant [1280] Table 3-10 ;
- De la répartition de la flotte mondiale par type de navire [1221] Table 7.

Les moteurs de vitesse lente (< 300 tr/min) sont considérés comme 2-temps et les moteurs de vitesse moyenne (vitesse comprise entre 300 et 900 tr/min) et rapide (> 900 tr/min) comme 4-temps. Ces hypothèses permettent d'extraire les ratios moyens de puissance entre les moteurs 2-temps et 4-temps par type de carburant (cf. tableau ci-dessous). Ces ratios sont considérés constant en fonction de l'année.

**Figure 8 : ratios moyens de puissance entre les moteurs 2 temps et 4 temps par type de carburant**

	DML	FOL
2-temps	37 %	86 %
4-temps	63 %	14 %

### Consommation d'huile dans les moteurs 2-temps

D'après [1278], la consommation d'huile est en moyenne estimée à 1,2 g/kWh, et d'après [1280], la consommation de carburant à 190 g/kWh, soit un ratio de 0,63 % gramme d'huile 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 :

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

### Consommation d'huile dans les moteurs 4-temps

Afin de rester cohérent avec les ventes de lubrifiant du maritime, le calcul bottom-up de la consommation d'huile des moteurs est réalisé seulement pour les motorisations 2-temps. Le solde entre les ventes et la consommation d'huile 2-temps est attribué à la consommation d'huile 4-temps selon l'hypothèse que 20 % de l'huile du carter brûle dans la chambre de combustion du moteur. Cette hypothèse est conforme aux lignes directrices 2006 du GIEC [1282].

Les émissions relatives aux huiles des moteurs 4-temps sont rapportés dans le secteur non énergétique (NFR-2.G/CRT-2.D.1).

## Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NID 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 gaz à effet de serre (NID) :

### **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 marine 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 Marine 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 calculées par une méthode bottom-up, en utilisant les calculs de consommations précédemment décrits. Pour le fioul lourd, le facteur d'émission est 1 878 g/GJ pour le fioul lourd et pour le Diesel marine léger 1 553 g/GJ pour les années pré-2000 (année d'application de la première réglementation sur les NO<sub>x</sub>, i.e. Tier I). Pour les années post-2000, en s'appuyant sur l'étude [1220], est appliquée l'hypothèse d'un renouvellement annuel de la flotte de navires de 4 % par d'autres navires dont la réduction unitaire annuelle des émissions NO<sub>x</sub> s'élève à

17 %. Ainsi, le niveau de réduction annuel des émissions de NO<sub>x</sub> du secteur d'élève à 0,68 % (=17 % x 4 %). Le facteur d'émission de référence utilisé dans les calculs correspond à celui de l'année 2019 calculé à partir des données AIS, et s'élève à 1 650 g/GJ pour le FOL et 1 364 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 guide méthodologique EMEP [1280], pour le fioul lourd le facteur d'émission est 42 g/GJ et pour le Diesel marine 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 guide méthodologique EMEP [1280], pour le fioul lourd le facteur d'émission est 92 g/GJ et pour le Diesel marine 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. À ce jour très peu de navires sont équipés de dispositifs d'épuration des NO<sub>x</sub> (SCR), dispositif qui par nature peut rejeter de l'ammoniac. Cependant, la mise en place de zones d'émissions de contrôle des émissions de NO<sub>x</sub>, 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 4<sup>e</sup> 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.

$$\text{FOL} : EF_{PM_{10}} \left( \frac{\text{g}}{\text{kWh}} \right) = 1,35 + SFC * 7 * 0,02247 * (S - 0,0246) \quad (1)$$

$$\text{DML} : EF_{PM_{10}} \left( \frac{\text{g}}{\text{kWh}} \right) = 0,23 + SFC * 7 * 0,02247 * (S - 0,0024) \quad (2)$$

Avec :

- *SFC* : Consommation spécifique de carburant en (g/kWh)
- *S* : Le taux de soufre

Les valeurs des consommations spécifiques (*SFC<sub>i</sub>*) utilisées pour obtenir des FE en g/GJ correspondent à la moyenne pondérée des *SFC<sub>i</sub>* 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<sub>1,0</sub> 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<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> 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 valant respectivement 2,26 et 1,13 g/GJ pour les FOL et DML est faite à partir du guide méthodologique EMEP/EEA [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 du guide méthodologique EMEP [1280] et sont les suivants :

**Tableau 29 : facteurs d'émission des métaux lourds du maritime pour les carburants et l'huile (en mg/GJ)**

Polluant	Facteurs d'émission pour DML/FOL (en mg/GJ)	Facteurs d'émission pour l'huile (en mg/GJ)
As	17,00	0,0
Cd	0,50	4,56
Cr	18,00	19,2
Cu	31,25	778
Hg	0,50	0,0
Ni	800	31,89
Pb	4,50	0,0332
Se	5,25	4,54
Zn	30,00	450,2

#### **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 3,05 ng/GJ pour le Diesel marine 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 [1281].

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 0,89 µg/GJ pour le Diesel marine léger.

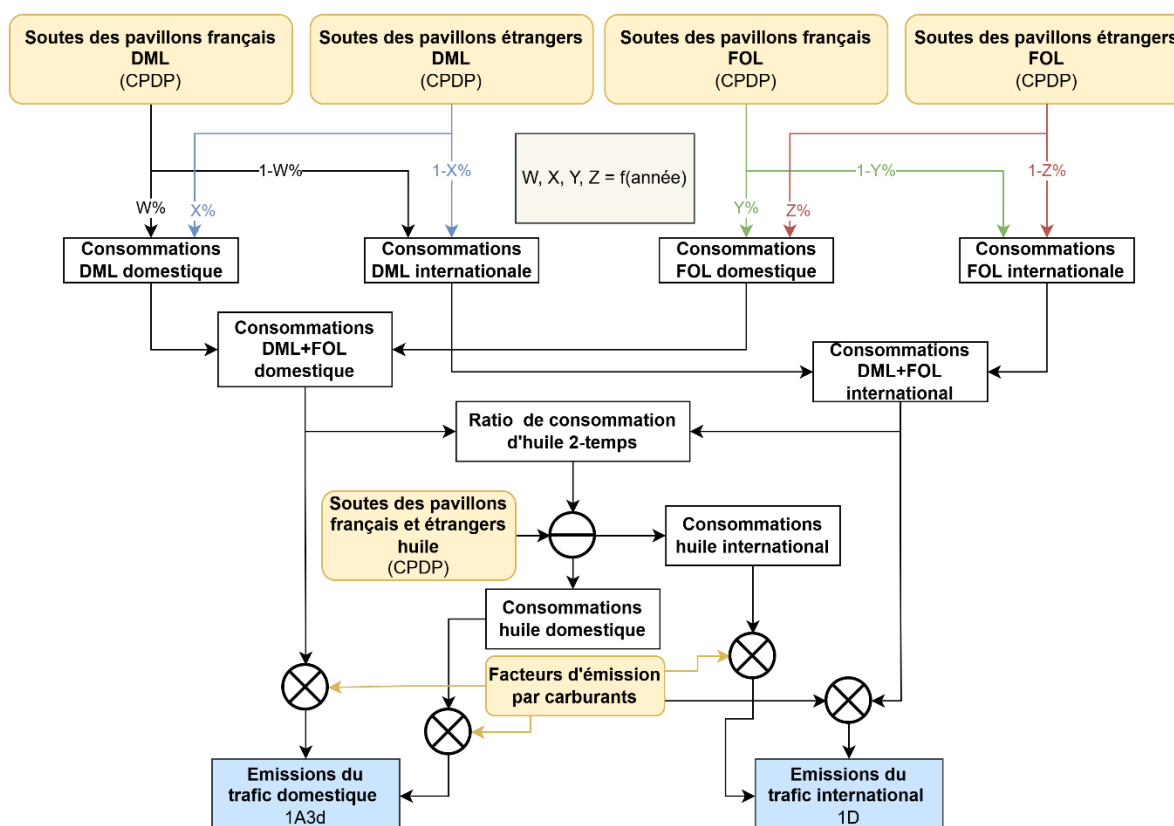
Pour estimer les émissions de PCB issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions du FOL ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

### Hexachlorobenzène (HCB)

Les émissions sont déterminées à partir des facteurs d'émission spécifiques aux combustibles [341] : 3,5 et 1,88 µg/GJ pour le Fioul lourd et le DML respectivement.

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.

Figure 9 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du trafic maritime.





Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
30/01/2026	FJ	30/01/2026	BC

# Stations de compression du réseau 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 / CRT	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] Base de données du registre des émissions polluantes (BDREP) – Déclarations annuelles des émissions de polluants

[1347] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 – 1.A.4 Small combustion, Table 3-28 p59 et Table 3-30 p61

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

### **Introduction**

Les données de consommation de gaz sont disponibles pour les différents sites ou entreprises [19] et permettent une estimation assez fine des émissions pour la plupart des substances, notamment celles concourant à l'acidification et au changement climatique.

Les données d'activité et les émissions déclarées par les exploitants permettent de calculer des facteurs d'émission moyens représentatifs du parc français.

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

## Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

### **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 seulement de gaz naturel (avec faible teneur en soufre). 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 guide méthodologique EMEP/EEA [1347] 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 guide méthodologique EMEP/EEA [1347] et de l'évolution des consommations dans ces équipements au cours du temps. Concernant les émissions de particules, le guide méthodologique 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>**

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 guide méthodologique EMEP/EEA [1347] 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 [1347].

### 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 guide méthodologique EMEP/EEA [1347] et de l'évolution des consommations dans ces équipements au cours du temps. Il est à noter que, depuis l'édition 2023 du guide, les facteurs d'émission des PCDD-F associés à la combustion du gaz naturel sont considérés nuls.

### 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 nuls au cours des années et communs à plusieurs sections (cf. section « 1A\_fuel emission factors »).

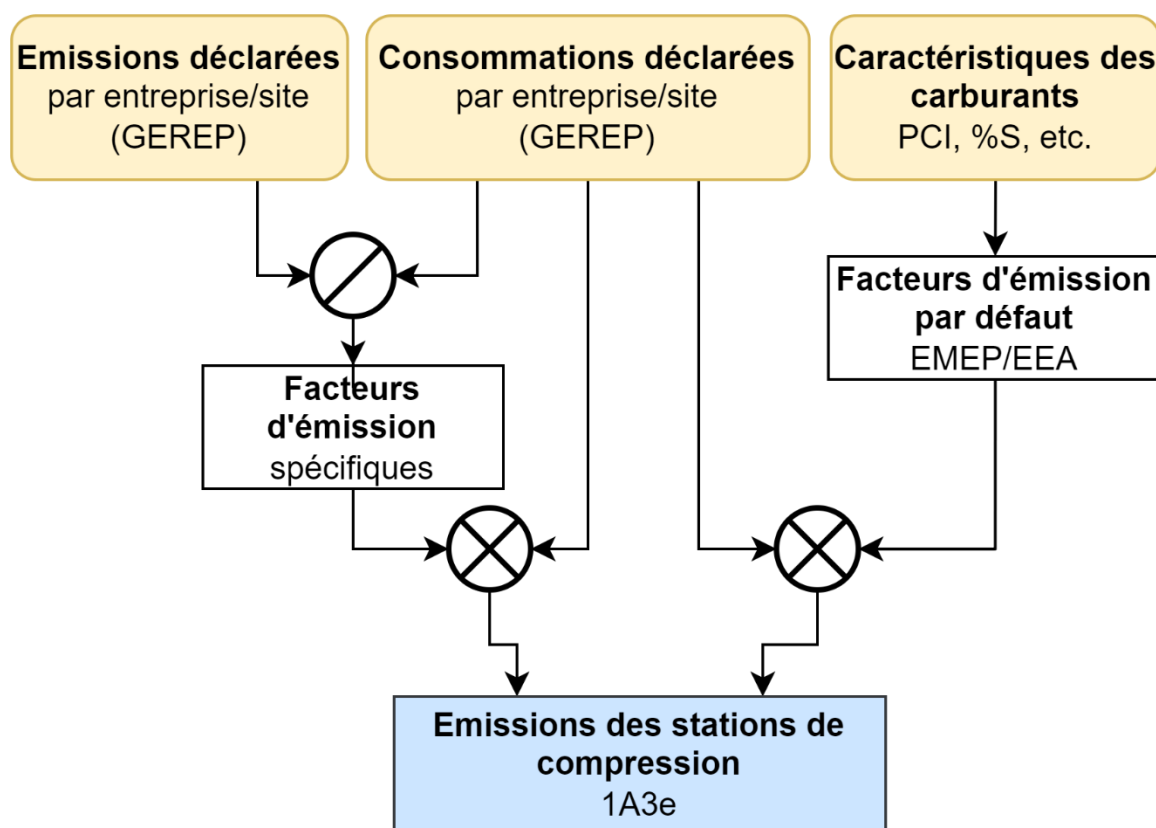
### Polychlorobiphényles (PCB)

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.

**Figure 10 : Logigramme du processus d'estimation des émissions des stations de compression.**





Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
04/02/2020	FJ	17/02/2020	GB

## 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 / CRT	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 NID 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).

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
28/01/2026	JMA	27/01/2026	GK

# Transport international

Cette section porte sur les rejets des navires et plus particulièrement ceux utilisés pour le transport maritime des biens et des personnes lors des trajets internationaux, ainsi que sur les rejets des aéronefs lors des trajets internationaux.

## Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	1.D.1a et 1.D.1b
CEE-NU / NFR	1A3ai(ii), 1A3aii(ii) et 1.A.3.d.ii
SNAPc (extension Citepa)	08.05.02, 08.05.04, 08.03.04 (partiellement) et 080404
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

## Approche méthodologique :

Cf. les chapitres concernant le transport aérien, le transport maritime et le transport fluvial.

## Niveau de méthode :

-

## Références utilisées :

-

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

Cf. les chapitres concernant le transport aérien, le transport maritime et le transport fluvial.



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
14/01/2026	GK	27/01/2026	JMA

# Opérations multilatérales

Cette section concerne les émissions des opérations multilatérales, qui ne considère que le lancement des fusées sur le pas de tir de Kourou en Guyane.

## Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	1.D.2
CEE-NU / NFR	Hors champ
SNAPc (extension Citepa)	08.10.01
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

## Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up	Valeur par défaut

## Niveau de méthode :

CO<sub>2</sub> : Rang 1

## Références utilisées :

- [1352] Liste des lancements de fusées Ariane et autres lanceurs : <https://centrespatialguyanais.cnes.fr/fr/historique-lancements>
- [1353] Ariane 1 : [https://en.wikipedia.org/wiki/Ariane\\_1](https://en.wikipedia.org/wiki/Ariane_1)
- [1354] Ariane 2 : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Ariane\\_2](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ariane_2)
- [1355] Ariane 3 : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Ariane\\_3](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ariane_3)
- [1356] Ariane 6 : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Ariane\\_6](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ariane_6)
- [1357] Vega : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Vega\\_\(fus%C3%A9e\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Vega_(fus%C3%A9e))
- [1358] Soyouz : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Soyouz\\_\(fus%C3%A9e\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Soyouz_(fus%C3%A9e))
- [1359] Communication avec Ariane Espace (26/10/2010)

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

Les engins concernés sont les fusées envoyées depuis le centre spatial guyanais.

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

Les consommations prises en compte dans cette étude sont estimées à partir de l'historique des lancements par type de fusée, réalisés au centre spatial de Kourou (Guyane, Outre-Mer UE) [1352].

À partir de ces informations et des consommations spécifiques de chaque modèle [1353, 1354, 1355, 1356, 1357, 1358], la consommation de propergol est calculée.

La température atteinte étant de plus de 3 000 K, il y a création d'un plasma dans lequel les NO<sub>x</sub> réduisent très rapidement toutes les substances en contact [1359]. Seules les émissions de CO<sub>2</sub> sont donc calculées pour cette activité, en utilisant le facteur d'émission moyen de CO<sub>2</sub> du propergol [1359].

## Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

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

Le propergol est constitué de 14 % de polybutadiène. Les émissions de CO<sub>2</sub> représentent 45 % de la masse de propergol, donc 450 kg de CO<sub>2</sub> / tonne de propergol consommé.

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

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

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

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

### **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>**

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

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

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

## **Emissions de COVNM**

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

## **Emissions de CO**

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

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

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

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

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

## **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 la combustion.

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

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

## **Métaux lourds (ML)**

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

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

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

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

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

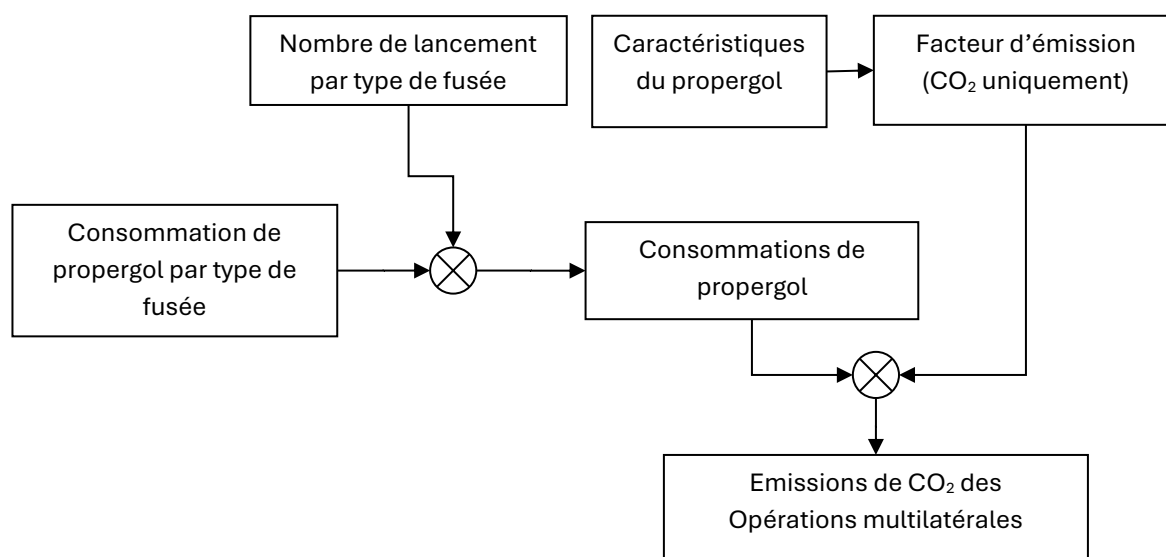
## **Polychlorobiphényles (PCB)**

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

## **Hexachlorobenzène (HCB)**

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

Figure 11 : Logigrammes du processus d'estimation des émissions du secteur des opérations multilatérales



# Crédit des illustrations

Transports | Introduction (de gauche à droite et de haut en bas)

@ Martti SALMI / Unsplash

@ Chris JOHNSON / Unsplash

@ Jakub NAWROT / Unsplash

@ Topsphere media / Unsplash

@ Arno SENONER / Unsplash

