



# Rapport **OMINEA** | Métallurgie Ed. 2025

Organisation et méthodes des  
inventaires nationaux des émissions  
atmosphériques en France

# Rapport **OMINEA** | Métallurgie Ed. 2025

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

Avril 2025

Rédaction	
Contributeurs	Grégoire BONGRAND, Magali BONNOT, Coralie JEANNOT, Rania KAMAR, Natalia SIRINA-LEBOINE.

Coordination, Vérification et Approbation finale		
Coordination et Vérification	Grégoire BONGRAND, Ingénieur d'études Jean-Pierre CHANG, Directeur adjoint Vincent MAZIN, Ingénieur d'études	15/04/2025
Approbation finale	Nadine ALLEMAND, Directrice adjointe Jérôme BOUTANG, Directeur général	15/04/2025

Pour citer ce document :

Citepa, 2025. Rapport OMINEA | Métallurgie – 22<sup>ème</sup> édition

© Citepa 2025

Ce Rapport a été réalisé avec la participation financière du Ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche (MTBFMT).

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

Rapport n°2590omi/ 2025 | 2. Métallurgie.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
Préambule .....	4
Industrie Métallurgique   Introduction.....	5
Sidérurgie : production de coke, de fonte et d'acier.....	6
Ferro-alliages .....	21
Production de silicium .....	26
Aluminium de première fusion .....	29
Production de magnésium .....	36
Production de zinc.....	37
Broyage de batteries.....	39
Décarbonatation dans les fonderies de fonte .....	41
Production de magnésium .....	43
Production de nickel.....	46

## Table des illustrations

Figure 1 : Représentation schématique des processus de production d'acier, selon les filières haut-fourneau et four électrique.....	6
Figure 2 : Schéma des divers flux de produits au sein d'un site sidérurgique intégré, et répartition des flux selon les CRT .	10
Figure 3 : Logigrammes du processus d'estimation des émissions pour les divers ateliers sidérurgiques. ....	18
Figure 4 - Logigramme du processus d'estimation des émissions. ....	24
Figure 5 - Logigramme du processus d'estimation des émissions de CO <sub>2</sub> relatives au procédé de production de silicium	28
Figure 6 - Logigramme du processus d'estimation des émissions CH <sub>4</sub> relatives au procédé de production de silicium .....	28
Figure 7 : Schéma de la production d'anodes précuites.....	30
Figure 8 : Schéma du procédé de production d'aluminium dans une cuve d'électrolyse .....	30
Figure 9 : Aluminium sous diverses formes .....	31
Figure 10 : Récapitulatif des données d'émissions pour les GES du secteur de l'aluminium de première fusion .....	33
Figure 11 : Logigramme du processus d'estimation des émissions de la production d'aluminium de première fusion .....	35
Figure 12 : Logigramme du processus d'estimation des émissions liées à la production du zinc .....	38
Figure 13 : Logigramme du processus d'estimation des émissions des fonderies de fonte.....	42
Figure 14 : Logigramme du processus d'estimation de la consommation de dolomie pour la production de magnésium ..	45
Figure 15 : Logigramme du processus d'estimation des émissions liées à la production de magnésium .....	45
Figure 16 : Logigramme du processus d'estimation des émissions liées à la production de nickel .....	49

# 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 **Métallurgie**.

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

- OMINEA. Parties générales
- 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
- 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
- OMINEA. Agriculture
- OMINEA. UTCATF
- OMINEA. Autres
- OMINEA. Références & Annexes

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.**





## Industrie Métallurgique | Introduction

Cette catégorie regroupe la production de fonte et d'acier, de ferroalliages, d'aluminium primaire, de zinc et les fonderies de magnésium. Les principales émissions engendrées sont le CO<sub>2</sub>, les PFC et le SF<sub>6</sub>.

Cette section présente les méthodes de calcul des émissions des activités suivantes :

- Industrie de la métallurgie (production de coke, de fonte et d'acier)
- Production de ferro-alliages
- Production de silicium
- Production d'aluminium primaire par électrolyse
- Production de magnésium
- Production de zinc
- Broyage de batteries
- Décarbonatation dans les fonderies de fonte
- Production de nickel

Rédaction : **Grégoire BONGRAND, Magali BONNOT, Coralie JEANNOT, Rania KAMAR, Natalia SIRINA-LEBOINE**

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
21/01/2025	GB	24/01/2025	CJ

# Sidérurgie : production de coke, de fonte et d'acier

Les activités traitées dans cette section concernent une partie des ateliers sidérurgiques, dans la limite de la partie des procédés non énergétiques.

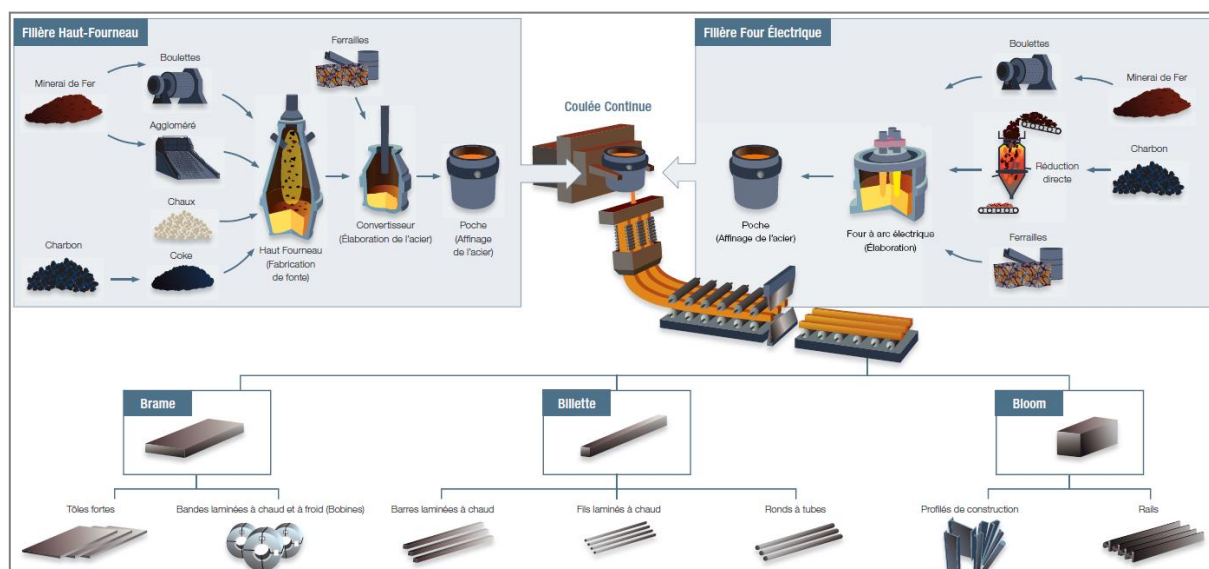
Les activités couvertes par cette section sont :

- les chaînes d'agglomération,
- les hauts-fourneaux (chargement et coulée),
- les aciéries à l'oxygène,
- les aciéries électriques,
- les laminoirs.

Pour information, la production de ferroalliages est traitée dans la section « 2C2 - ferro alloys ».

Le procédé de production sidérurgique est rappelé ci-dessous.

**Figure 1 : Représentation schématique des processus de production d'acier, selon les filières haut-fourneau et four électrique**



Source : [acier.org](http://acier.org)

- *Agglomération de minerai*

La **chaîne d'agglomération** est un atelier dans lequel le minerai de fer est broyé et calibré en grains qui s'agglomèrent entre eux. L'ajout de liants (chaux, castine) et de poussier de coke conduit à la production d'agglomérés. L'aggloméré obtenu est concassé puis chargé dans le haut fourneau avec du coke. Le coke est un combustible résidu solide issu de la distillation de la houille.

- *Hauts-fourneaux*

Les **hauts-fourneaux** produisent de la **fonte** à partir du fer extrait du minerai (l'aggloméré) et du coke. Ces deux produits sont introduits par le haut du haut-fourneau. L'air chaud (1 200°C) insufflé à la base du haut-fourneau provoque la combustion du coke. L'oxyde de carbone formé réduit les oxydes de fer pour isoler le fer. La chaleur dégagée par la

combustion fait fondre le fer. Le mélange obtenu est la fonte. Les résidus formés (laitier) sont exploités par d'autres industries : construction de routes, cimenterie, etc. L'opération qui se déroule dans les hauts-fourneaux est consommatrice d'énergie fossile. Le processus de fabrication comprend, d'une part, la combustion d'énergie fossile (essentiellement du gaz de haut fourneau) aux régénérateurs ou cowpers également appelés « réchauffeurs », qui s'apparente à une combustion sans contact et, d'autre part, des procédés non énergétiques tels que le chargement et la coulée au niveau du haut-fourneau. La présente section traite de la partie non énergétique du procédé, tandis que la partie relative à la combustion est traitée dans la section « 1A2a - iron steel ».

- *Convertisseurs à oxygène et aciéries électriques*

Différents procédés sont utilisés pour la fabrication de l'acier : les **fours à oxygène, présents dans des sites sidérurgiques intégrés**, dans lesquels de l'oxygène est injecté et les **fours électriques, au sein des aciéries électriques**. Les émissions relatives à ces procédés sont traitées dans la présente section.

- *Autres ateliers*

Les **fours de réchauffage** et les **laminatoires** permettent de mettre en forme le métal (bandes, lingots, billettes, fils, poutres, etc.). Ces opérations sont consommatrices d'énergie et sources d'émissions diffuses, notamment de COVNM et de poussières. Les émissions diffuses, dites de procédés, liées à ces activités sont traitées dans la présente section. En revanche, les méthodes d'estimation émissions liées à la consommation énergétique de combustibles, sont présentées dans la section 1A2a\_sidérurgie.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	2.C.1
CEE-NU / NFR	2.C.1
SNAPc (extension Citepa)	04.02.00, 04.02.02, 04.02.03, 04.02.06, 04.02.07, 04.02.08,
CE / directive IED	2.1, 2.2, 2.3 et 2.4
CE / E-PRTR	2a, b, c, d
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Données de production	Valeurs spécifiques calculées à partir des émissions, de la production nationale ou de ratios vis-à-vis de la production, et des caractéristiques des matières premières ; valeurs par défaut

### Niveau de méthode :

Rangs GIEC 1 ou 2+ du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations.

### Références utilisées :

[17] EMEP / CORINAIR Guidebook 1992

[19] Base de données du registre des émissions polluantes (BDREP) – Déclarations annuelles des émissions de polluants

[27] Fédération française de l'Acier (FFA) / A3M (Alliance des Minerais, Minéraux et Métaux) - Données internes (jusqu'en 2013)

[50] Données communiquées directement par les exploitants au Citepa



- [53] SESSI - Bulletin mensuel de statistique industrielle
- [70] Citepa – BOUSCAREN R. – Inventaire des émissions dans l’atmosphère de métaux lourds et de composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996.
- [106] AEAT - UK Particulates and heavy metal emissions from industrial processes - February 2002
- [154] INESTENE, Eléments de base pour une prospective des émissions totales de particules primaires à l’horizon 2030, août 2001
- [183] Citepa – IER – Study on particulate matter emissions: particle size distribution chemical composition and temporal profiles – Interreg III for ASPA, January 2005
- [276] ADEME - Détermination de la granulométrie des aérosols dans les émissions diffuses d’ateliers sidérurgiques : PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub> et PM<sub>0,1</sub> – janvier 2004
- [323] LECES – Données communiquées par le ministère de l’Environnement, courrier du 19 février 1996
- [588] EMEP / CORINAIR Guidebook 1999 – section B427-5 à 7
- [951] Best Available Techniques (BAT) Reference (BREF) Document for Iron and Steel Production – 2013
- [952] Norme NF EN 1964-2 - Détermination des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans les industries énergétiques - Partie 2 : Industrie sidérurgique (17 septembre 2016)
- [953] 2006 IPCC Guidelines, Volume 3 chapter 4 - Metal Industry
- [1136] 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, V3, Ch4, Metal industry
- [1287] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 2.C.1 – Table 3.1 (HCB), Tables 3.14 & 3.15 (BC et PCB)

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

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

Trois chaînes d’agglomération existent en France actuellement. Trois hauts-fourneaux dont deux au sein des sites intégrés sont encore en fonctionnement. Ces deux sites comptent les deux convertisseurs à oxygène encore présents sur le territoire français. Une vingtaine d’aciéries électriques existe en France.

Il convient de noter qu’une activité de traitement de résidus contenus dans les poussières de filtres et autres résidus métalliques, dans les catalyseurs usés, dans les piles, et de valorisation sous forme de ferroalliages est également traitée dans cette section (2C1f – Autres). Cette activité n’est pas traitée dans la partie Production de ferroalliages (2C2), car ce n’est pas de la production de ferroalliages mais du traitement de déchets. Il n’y a à ce jour qu’un site recensé en France.

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

## Introduction

Les productions nationales des différents ateliers sidérurgiques sont fournies par différentes sources : les déclarations annuelles (dont les déclarations au titre du SEQUE-UE<sup>1</sup>) [19], la fédération professionnelle [27] et le SESSI [53].

Les facteurs d'émission sont calculés d'après les informations relatives aux différents sites [19, 50] et aux caractéristiques des matières et procédés [27].

Il convient de noter que la distinction entre les émissions liées à la combustion (1A2a) et les émissions liées au procédé (2C1) est réalisée en fonction de l'atelier sidérurgique, des natures des intrants et de la prise en compte des lignes directrices pour la réalisation des inventaires.

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

Par exemple, l'atelier de production de fonte (au sein du haut-fourneau) utilise du coke et des charbons comme agents réducteurs (matières premières → émissions liées au procédé) et des combustibles liquides et gazeux pour réchauffer l'air injecté à la base du haut-fourneau qui provoque la combustion des matières premières (émissions liées à la combustion). Des gaz de haut-fourneau issus de la transformation des matières premières sont produits et sont en partie réutilisés comme combustibles (apport énergétique) au sein du site intégré. Les émissions des gaz de haut-fourneau non valorisés et issus de la transformation des matières premières sont comptabilisées en procédé. La distinction des émissions entre la combustion et le procédé est réalisée de différentes façons selon la nature des intrants, selon les substances considérées (cf. sections dédiées aux émissions par polluant) et en considérant les lignes directrices pour la réalisation des inventaires des émissions. A partir de 2014, les données fournies par la fédération professionnelle [27] ne sont plus disponibles. Afin d'estimer les consommations de combustible pour les ateliers : agglomération, hauts-fourneaux, et autres ateliers, une estimation de la consommation totale de combustibles par atelier est réalisée à partir de la production (par type d'atelier) et d'un ratio moyen entre la consommation totale et la production, basé sur les années connues. Une répartition moyenne des consommations par type de combustible, basée sur les années connues, est appliquée à la consommation totale afin d'obtenir les consommations par combustible. Lorsque les productions individuelles des sites connus sont disponibles, elles sont utilisées [19].

Pour l'activité de traitement de résidus métalliques (2C1f – Autres), seules les émissions de CO<sub>2</sub> sont actuellement estimées et proviennent des déclarations annuelles du site [19]. Les données sont confidentielles.

---

<sup>1</sup> SEQUE UE : Système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre de l'Union européenne, ou EU ETS : European union Emissions trading system

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

La répartition des flux de combustibles et matériaux entrants des installations sidérurgiques et des émissions de gaz à effet de serre associées est présentée ci-dessous :

**Figure 2 : Schéma des divers flux de produits au sein d'un site sidérurgique intégré, et répartition des flux selon les CRT**

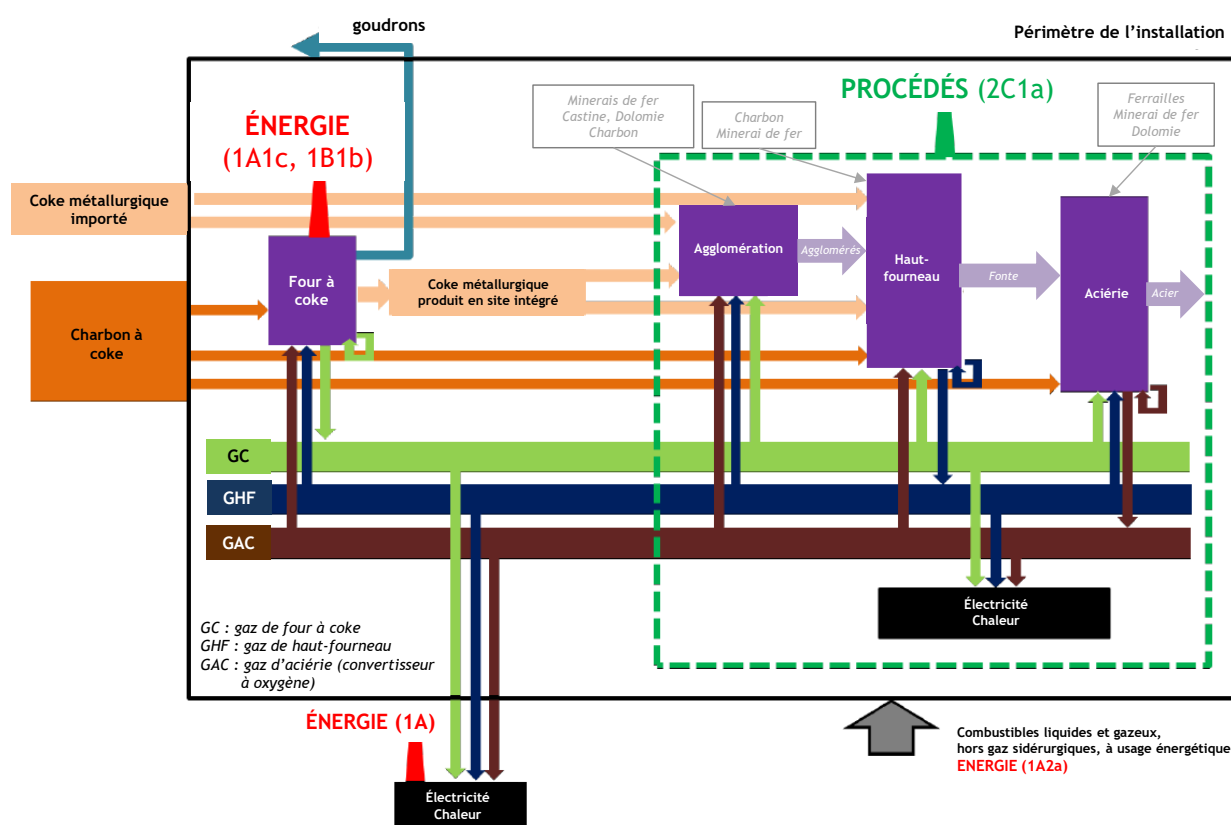


Schéma tiré des Lignes directrices du GIEC – Refinement 2019 (V3\_CH04\_Figure 4.8d) [1136], et adapté à la situation française

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

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées aux consommations de combustibles solides et aux consommations de gaz sidérurgiques au sein des ateliers sidérurgiques, hors GIC (grande installation de combustion), sont allouées au secteur CRT 2C1, conformément aux lignes directrices du GIEC 2006 [953].

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont estimées de la façon suivante :

- De 2005 à nos jours :

### Equation 1 :

$$E_{CO_2 \text{ procédé (2C1)}} = E_{CO_2 \text{ totales SEQE}} - E_{CO_2 \text{ cokeries}} - E_{CO_2 \text{ combustion(liq,gaz)}} - E_{CO_2 \text{ GIC}}$$

Avec :

E CO <sub>2</sub> procédé (2C1) :	les émissions de CO <sub>2</sub> attribuées au procédé (2C1), issues de la consommation de matériaux et agents réducteurs, de combustibles solides et de la réutilisation de gaz sidérurgiques au sein des sites sidérurgiques,
E CO <sub>2</sub> totales SEQE :	les émissions totales de CO <sub>2</sub> déclarées par les installations soumises au SEQE, depuis 2005,
E CO <sub>2</sub> cokeries :	les émissions de CO <sub>2</sub> issues des cokeries (affectées au secteur Energie 1A1c),
E CO <sub>2</sub> combustion(liq, gaz) :	Les émissions de CO <sub>2</sub> issues de la combustion des combustibles liquides et gazeux (au sens du GIEC) au sein des ateliers des aciéries (électriques et intégrées), hors production de chaleur ou d'électricité (affectées au secteur Energie 1A2a),
E CO <sub>2</sub> GIC	les émissions de CO <sub>2</sub> issues de la combustion de combustibles pour la production de chaleur ou d'électricité des installations GIC (installations de combustion de puissance supérieure à 50 MW) (affectées au secteur Energie 1A).

- *De 1990 à 2004 :*

Pour la série temporelle 1990-2004, les émissions de CO<sub>2</sub> procédé des ateliers sidérurgiques ne sont pas déclarées dans le SEQE (démarrage en 2005). Pour assurer la cohérence temporelle, les émissions sont donc estimées à l'aide de facteurs d'émission moyens basés sur les déclarations des années 2005-2019, selon les spécificités des diverses productions, et les activités respectives des divers ateliers. Pour ce faire, l'équation 2 est utilisée et les émissions sont estimées de la façon suivante :

**Equation 2 :**

$$\begin{aligned}
 E \text{ CO}_2 \text{ procédé (2C1)} &= E \text{ CO}_2 \text{ acier O}_2 \text{ (hors gaz nat, liq)} + E \text{ CO}_2 \text{ acier élec (hors gaz nat, liq)} + E \text{ CO}_2 \text{ autres ateliers (hors gaz nat, liq)} \\
 &= \text{Prod.}_{\text{acier O}_2} \times \text{FE CO}_2 \text{ moyen acier O}_2 \text{ (hors gaz nat, liq, hors cokerie) (2005-2011)} + \text{Prod.}_{\text{acier élec}} \times \text{FE CO}_2 \text{ moyen acier élec (hors gaz nat, liq) (2005-2018)} \\
 &\quad + \% \text{ moyen autres ateliers (hors gaz nat, liq) (2005-2019)} \times E \text{ CO}_2 \text{ totales}
 \end{aligned}$$

Avec :

FE CO <sub>2</sub> moyens	les FEs CO <sub>2</sub> moyens (aciéries O <sub>2</sub> et aciéries électriques) sont estimés grâce aux émissions de CO <sub>2</sub> et productions déclarées par les installations soumises au SEQE, avec :
FE CO <sub>2</sub> moyen acier O <sub>2</sub> (hors gaz nat, liq, hors cokerie) (2005-2011)	pour les émissions des sites intégrés produisant de l'acier grâce un convertisseur O <sub>2</sub> , le FE est pris égal à la moyenne 2005-2011. En effet, l'un des sites sidérurgiques intégrés n'a conservé que sa cokerie après 2011.
FE CO <sub>2</sub> moyen acier élec (hors gaz nat, liq) (2005-2018)	pour le FE CO <sub>2</sub> moyen des aciéries électriques, la moyenne est prise sur la série temporelle 2005-2018.
% moyen autres ateliers (hors gaz nat, liq) (2005-2019)	pour le pourcentage moyen des autres ateliers, la moyenne est prise sur la série temporelle 2005-2019. Par manque d'information et de données d'activité, les émissions des autres ateliers sidérurgiques sont estimées grâce au total des émissions CO <sub>2</sub> dites « procédé » (E CO <sub>2</sub> totales), qui représentent environ 2,7% de ce total.

Les déclarations des émissions des exploitants ne permettant pas de faire une distinction précise des émissions par atelier, l'ensemble des émissions de CO<sub>2</sub> liées au procédé sont allouées au secteur CRT 2C1a – production d'acier.

La variation annuelle du facteur d'émission de CO<sub>2</sub> s'explique principalement par le taux très variable de valorisation des gaz sidérurgiques selon les années qui impacte directement les émissions finales.

- *Agglomération de minerai*

Il existe actuellement trois chaînes d'agglomération en France, deux autres ayant été arrêtées fin 2011 et en 2018. Toutes utilisent de la *castine* comme fondant dans le procédé (les émissions de CO<sub>2</sub> proviennent de la décarbonatation de la castine). La matière première principale est le *minerai de fer*, qui peut contenir une faible quantité de carbone (élaboration d'agglomérés de minerai de fer pour la production de fonte puis d'acier dans les usines sidérurgiques intégrées, ou élaboration d'agglomérés divers (ferromanganèse par exemple)).

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'utilisation de castine et de matières carbonées au sein de l'atelier d'agglomération (émissions de procédé) sont estimées grâce aux équations 1 et 2 détaillées précédemment et affectées au secteur CRT 2C1a.

- *Chargement et coulée des hauts-fourneaux*

Au chargement et à la coulée du haut-fourneau, les fuites de gaz de haut-fourneau sont en grande partie captées. Toutefois, une partie est perdue.

Les émissions de CO<sub>2</sub> se produisant au chargement et à la coulée des hauts-fourneaux (émissions de procédé) sont estimées grâce aux équations 1 et 2 détaillées précédemment et affectées au secteur CRT 2C1a.

- *Convertisseurs à oxygène*

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'utilisation de fonte, gaz sidérurgiques, ferrailles, minerai de fer, dolomie et autres matières carbonées au sein de l'aciérie à oxygène (émissions de procédé) sont estimées grâce aux équations 1 et 2 détaillées précédemment et affectées au secteur CRT 2C1a.

- *Aciéries électriques*

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'utilisation de ferrailles, fonte, matières carbonées (par exemple : ferro-chrome carburés, ferro-manganèse carburés, carbone chrome silicié), d'électrodes au sein des aciéries électriques (émissions de procédé) sont estimées grâce aux équations 1 et 2 détaillées précédemment et affectées au secteur CRT 2C1a.

- *Autres procédés*

L'analyse des déclarations annuelles d'émission a permis la prise en compte des émissions de CO<sub>2</sub> d'un site de valorisation de résidus métalliques sous forme de ferroalliages. Le procédé est proche d'un four électrique de sidérurgie. Les émissions sont des émissions liées au procédé de fabrication, qui comprend un four électrique constitué d'électrodes en carbone, l'apport d'agents réducteurs (anthracite puis coke) et de résidus métalliques pouvant contenir du carbone. Les émissions de CO<sub>2</sub> sont issues des déclarations annuelles du site [19]. Seules des émissions de CO<sub>2</sub> sont considérées pour ce site, et allouées au secteur CRT 2C1f.

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

Les ateliers « Agglomération de minerai », « Convertisseurs à oxygène » et « Aciéries électriques » sont considérés comme émetteurs de CH<sub>4</sub>.

Comme pour le CO<sub>2</sub>, les émissions de CH<sub>4</sub> liées aux consommations de combustibles solides et des gaz sidérurgiques au sein des différents ateliers sidérurgiques (liées à la combustion, cf. section 1A2a « Iron and steel »), hors GIC, sont également désormais allouées au CRT 2C1 conformément aux lignes directrices du GIEC 2006.

- *Agglomération de minerai*

Les émissions de CH<sub>4</sub> sont connues annuellement, site par site depuis 2003 [19]. A l'aide de la production nationale d'agglomérés, un facteur d'émission moyen est recalculé. Pour rapporter les émissions liées à la combustion par type de combustible, les facteurs d'émission standards nationaux par combustible sont utilisés, pondérés par le facteur d'émission issu des déclarations annuelles (afin d'assurer la cohérence avec les émissions déclarées). Du fait de la méthodologie décrite en début du paragraphe « Emissions de CH<sub>4</sub> », ces émissions sont allouées au secteur 2C1a-Steel production. Avant 2003, un facteur d'émission moyen basé sur les données de 2003 et 2004 est appliqué.

- *Convertisseurs à oxygène*

Le calcul des émissions de CH<sub>4</sub> est effectué sur la base d'un facteur d'émission provenant du Guidebook EMEP / CORINAIR [17] et de la production d'acier par les convertisseurs à oxygène.

- *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est calculé sur la base de la production d'acier par les aciéries électriques et des déclarations annuelles à partir de 2006 [19]. Avant 2006, un facteur d'émission moyen calculé sur les années 2006-2008 est appliqué aux productions des années antérieures.

#### **Emissions de $N_2O$**

Pas d'émission attendue. Cf. section 1A2a.

#### **Emissions de Gaz fluorés**

Pas d'émission attendue.

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

#### **Emissions de $SO_2$**

- *Coulée des hauts-fourneaux*

Avant 2004, un facteur d'émission moyen est tiré des émissions déclarées annuellement par les exploitants et appliqué à la production nationale de fonte des années antérieures. A partir de 2004, les données des déclarations annuelles sont utilisées [19, 27].

- *Convertisseurs à oxygène*

Les émissions de  $SO_2$  de ces aciéries sont disponibles pour tous les sites depuis 1998 [19]. Avant cette date, une valeur moyenne est appliquée à la production nationale d'acier par les fours à oxygène.

- *Aciéries électriques*

A partir de 2006, les facteurs d'émission sont calculés sur la base des données des déclarations annuelles des aciéries électriques [19]. Un facteur d'émission moyen calculé pour 2006-2008 est appliqué à la production nationale d'acier pour les années antérieures à 2006.

#### **Emissions de $NO_x$**

- *Coulée des hauts-fourneaux*

Avant 2004, un facteur d'émission moyen est tiré des déclarations annuelles et appliqué sur les années antérieures. A partir de 2004, les émissions déclarées annuellement par les exploitants sont utilisées [19, 27].

- *Convertisseurs à oxygène*

Les émissions de  $NO_x$  de ces aciéries sont disponibles pour tous les sites depuis 1998 [19]. Avant cette date, une valeur moyenne est appliquée à la production nationale d'acier correspondant aux sites non connus individuellement.

- *Aciéries électriques*

A partir de 2006, les facteurs d'émission sont calculés sur la base des données d'émissions et de production d'acier déclarées annuellement par les aciéries électriques [19]. Un facteur d'émission moyen calculé pour 2006-2008 est appliqué pour les années antérieures à 2006.

#### **Emissions de COVNM**

- *Convertisseurs à oxygène*



Pour les COVNM, un facteur d'émission moyen issu du Guidebook EMEP/CORINAIR [588] est appliqué à la production nationale d'acier.

- *Aciéries électriques*

A partir de 2006, les facteurs d'émission sont calculés sur la base des données d'émission et de production d'acier des déclarations annuelles des aciéries électriques [19]. Un facteur d'émission moyen calculé pour 2006-2008 est appliqué pour les années antérieures à 2006.

- *Laminoirs*

Un facteur d'émission moyen est calculé à partir des données nationales de fabrication de produits laminés à froid et à chaud, issues de la fédération professionnelle, et de deux facteurs d'émission qui proviennent du Guidebook EMEP/CORINAIR [588] : un facteur d'émission pour le laminage à froid et un facteur d'émission pour le laminage à chaud.

### **Emissions de CO**

- *Chargement et coulée des hauts-fourneaux*

Le facteur d'émission varie selon les années en fonction des quantités de gaz à haut-fourneau rejetées ou captées par les sites [27] et de la production nationale de fonte. Le facteur d'émission moyen national est exprimé en kg CO/ Mg de fonte produite.

- *Convertisseur à oxygène*

Le facteur d'émission issu du Guidebook EMEP/CORINAIR [588] est retenu et appliqué à la production nationale d'acier.

- *Aciéries électriques*

A partir de 2006, les facteurs d'émission sont calculés sur la base des données des déclarations annuelles des aciéries électriques [19]. Un facteur d'émission moyen calculé pour 2006-2008 est appliqué pour les années antérieures à 2006.

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

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables.

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

Les activités de la sidérurgie émettent des particules au niveau de la coulée de la fonte brute, des convertisseurs à oxygène, des aciéries électriques et des laminoirs.

- *Coulée des hauts-fourneaux et convertisseurs à oxygène*

Le facteur d'émission des TSP est déterminé à partir des informations contenues dans les déclarations annuelles des rejets [19] et de données communiquées directement par les exploitants [50]. L'une des normes de mesure utilisée dans ces déclarations est la Norme NF EN 13284-1, avec piégeage sur filtre de quartz et pesée en laboratoire. La fraction de condensables n'est pas considérée, seule la fraction filtrable l'est.

- *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission des poussières entre 1990 et 2005 est calculé sur la base de données disponibles pour l'année 1994 et évolue pour tenir compte de l'installation de systèmes de dépoussiérage sur les sites. A partir de 2006, ce facteur d'émission est déterminé à partir des déclarations annuelles [19]. L'une des normes de mesure utilisée dans ces déclarations est la Norme NF EN 13284-1, avec piégeage sur filtre de quartz et pesée en laboratoire. La fraction de condensables n'est pas considérée, seule la fraction filtrable l'est.

- *Laminoirs*

Les facteurs d'émission proviennent de l'INESTENE [154] : un facteur d'émission pour le laminage à froid et un facteur d'émission pour le laminage à chaud. Il n'y a pas d'indication sur l'inclusion ou non des condensables dans ce facteur d'émission. Le facteur d'émission global est recalculé à partir des données de fabrication de produits laminés à froid et à chaud.

- *Emissions liées au stockage, manutention et transport de minerai de fer et autres matières (2C7d)*

Les émissions de poussières diffuses et canalisées liées au stockage, à la manutention et au transport de minerai de fer et d'autres matières premières sont incluses dans les déclarations annuelles des exploitants, dont les émissions de poussières sont rapportées en 2C1 et 1A2a (notées « IE » dans les tables NFR pour le secteur NFR 2C7d). Les exploitants indiquent que les émissions diffuses (atelier, parcs matières, manutention, route) sont calculées grâce à des campagnes de mesures et à un logiciel de modélisation basé sur la méthode issue de l'US EPA AP-42.

La réduction des émissions de poussières diffuses est réalisée par pulvérisation d'un produit de laquage sur les tas de matières premières entreposées, mise en place dans les années 2010.

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

- *Coulée des hauts-fourneaux et convertisseurs à oxygène*

En 1990, les granulométries proviennent de « UK Particulates and heavy metal emissions from industrial processes » [106]. Pour les années entre 1990 et 2010, elles sont interpolées afin de tenir compte de la mise en place progressive des systèmes de traitement des poussières au cours du temps. Les granulométries à partir de 2010 proviennent de campagnes de mesures réalisées par les sites et compilées par la fédération professionnelle [27].

Pour la période 2019-2023, pour la coulée des hauts-fourneaux, les déclarations des émissions de  $PM_{10}$  des exploitants sont utilisées [19], comme pour le calcul des TSP. Les  $PM_{2.5}$  et  $PM_{1.0}$  sont ensuite recalculées basées sur la granulométrie considérée [27].

- *Aciéries électriques*

La granulométrie est basée sur l'étude ADEME de 2004 relative à la « détermination de la granulométrie des aérosols dans les émissions diffuses d'ateliers sidérurgiques » [276].

- *Laminaires*

La granulométrie provient de campagnes de mesures réalisées par la profession. Elle est considérée comme constante au cours de la période car les laminaires n'ont pas bénéficié d'améliorations significatives pour le traitement des poussières.

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

- *Convertisseurs à oxygène et aciéries électriques*

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de  $PM_{2,5}$ . Ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA sur les inventaires d'émissions de polluants [1287].

- *Laminaires*

Aucune émission de BC n'est attendue pour les laminaires, conformément aux lignes directrices EMEP/EEA [1287].

#### **Métaux lourds (ML)**

Les activités émettant des métaux lourds dans la sidérurgie sont la coulée des hauts-fourneaux, les convertisseurs à oxygène et les aciéries électriques.

Tous les métaux lourds inventoriés dans le SNIEBA sont émis. L'évolution des facteurs d'émission est liée aux diverses améliorations apportées par les exploitants, notamment captage, équipements de dépollution, meilleure gestion des approvisionnements des matières premières, meilleure efficacité, etc. Toutefois, des écarts ponctuels sont observables certaines années, du fait de la teneur fluctuante en métaux des différents lots de matières premières, amplifiés ensuite par les volumes consommés.

- *Convertisseurs à oxygène*

Les facteurs d'émission des métaux lourds (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, et Zn, hors Se) sont déduits des déclarations annuelles [19] à partir de 2006. Pour les années antérieures, une estimation est effectuée sur la base des caractéristiques des dépoussiéreurs des différentes installations [50].

## Arsenic

- *Coulée des hauts-fourneaux*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2004. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2004.

- *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] des années 2002, 2003, 2006 et suivantes. L'estimation pour 2004 et 2005 est un report de 2003. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2002.

## Cadmium

- *Coulée des hauts-fourneaux*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2003. La moyenne de la période 2003 – 2005 est appliquée aux années antérieures jusqu'en 1990.

- *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2002. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 [70]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre 1990 et 2002.

## Chrome

- *Coulée des hauts-fourneaux*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2002. L'année 2001 est estimée comme la moyenne des années 2002 à 2005. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2001.

- *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] des années 2002, 2003, 2006 et suivantes. L'estimation pour 2004 et 2005 est un report de 2003. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2002.

## Cuivre

- *Coulée des hauts-fourneaux*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2002. Les années antérieures sont déterminées à partir du ratio des facteurs d'émission TSP/Cu de l'année 2002.

- *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] des années 2002, 2003, 2006 et suivantes. L'estimation pour 2004 et 2005 est une moyenne des données de 2002 et 2003. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2002.

## Mercure

- *Coulée des hauts-fourneaux*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2004. La moyenne de la période 2004 – 2005 est appliquée aux années antérieures jusqu'en 1990.

- *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2004. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 [70]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre 1990 et 2004.

#### Nickel

- *Coulée des hauts-fourneaux*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2003. L'année 2002 est estimée comme la moyenne des années 2003 à 2005. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2002.

- *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] des années 2002, 2003, 2006 et suivantes. L'estimation pour 2004 et 2005 est un report de 2003. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2002.

#### Plomb

- *Coulée des hauts-fourneaux*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2003. L'année 2002 est estimée comme la moyenne des années 2003 à 2005. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2002.

- *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2003. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2003.

#### Sélénium

- *Coulée des hauts-fourneaux*

Les données obtenues proviennent de la fédération professionnelle [27] et concernent seulement certaines années. Celles-ci sont très variables. Le facteur d'émission retenu pour toute la période est la moyenne des années 2006 à 2008 (années les plus documentées).

- *Aciéries à l'oxygène et aciéries électriques*

Les émissions sont supposées nulles.

#### Zinc

- *Coulée des hauts-fourneaux*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2002. Les années antérieures sont déterminées à partir du ratio des facteurs d'émission TSP/Cu de l'année 2002.

- *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est déduit des déclarations annuelles [19] à partir de 2002. Des données spécifiques sont disponibles pour 1990 et 1994 [70, 323]. Le facteur d'émission a été recalculé par interpolation entre, d'une part 1990 et 1994 et, d'autre part, entre 1994 et 2002.

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

Les dioxines et furanes sont émis significativement par les aciéries électriques. Depuis 1998, les données disponibles par site dans les déclarations annuelles [19] sont utilisées. Un facteur d'émission national moyen en est déduit. Le facteur d'émission évolue à la suite de la mise en place de systèmes d'épuration des effluents.

Pour les années antérieures à 1998, le facteur d'émission est basé sur les résultats des enquêtes plomb et dioxines [7] et sur des hypothèses de décroissance des flux depuis les années 1990.

### Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

- Coulée des hauts-fourneaux

La spéciation des facteurs d'émission provient de résultats de mesures [50].

- Aciéries électriques

Seul un facteur d'émission pour les HAP totaux est utilisé. Il provient d'une étude [70].

### Polychlorobiphényles (PCB)

Les PCB sont émis par les aciéries électriques. Le facteur d'émission utilisé provient du Guidebook EMEP/EEA sur les inventaires d'émissions de polluants [1287].

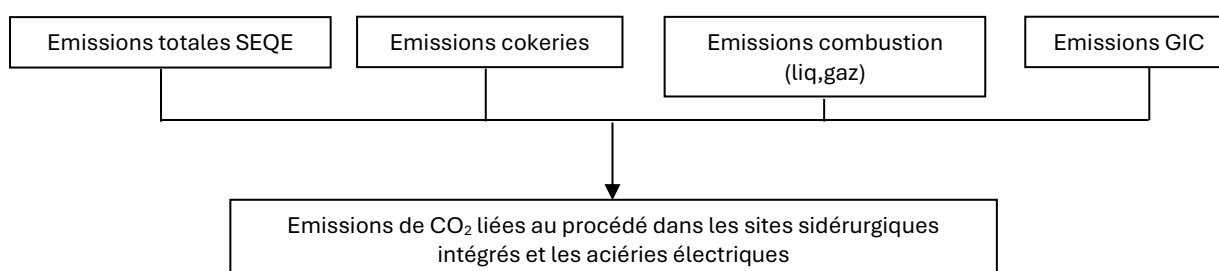
### Hexachlorobenzène (HCB)

Les émissions de HCB sont issues du procédé de fabrication de fonte et d'acier au sein des différents ateliers : agglomération de minerai, haut-fourneau, aciérie à l'oxygène.

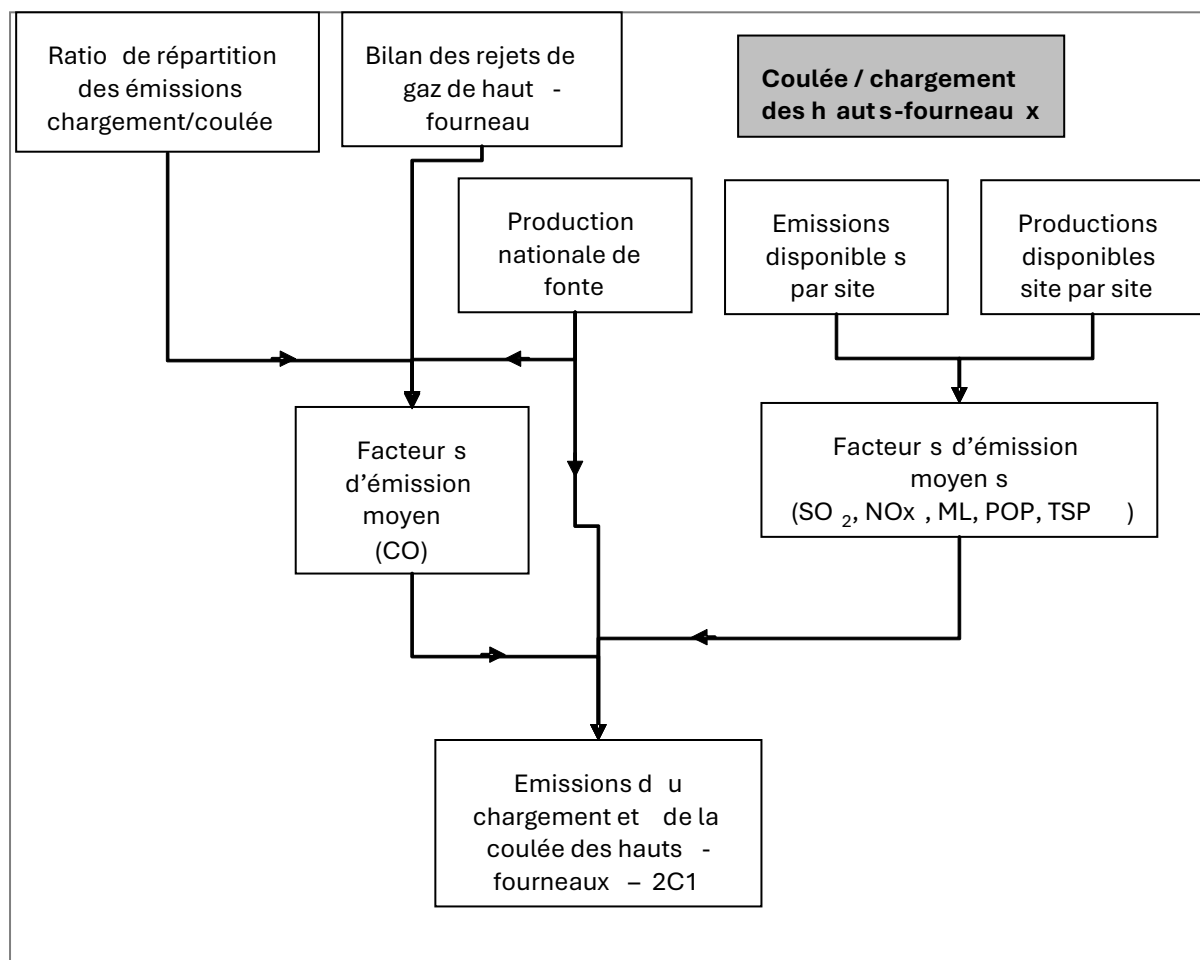
Le facteur d'émission, issu du Guidebook EMEP/EEA sur les inventaires d'émissions de polluants [1287], couvre l'ensemble des procédés {agglomération de minerai, haut-fourneau, aciérie à l'oxygène}. Il est appliqué à la production nationale d'acier dans les sites intégrés (aciérie à l'oxygène).

**Figure 3 : Logigrammes du processus d'estimation des émissions pour les divers ateliers sidérurgiques.**

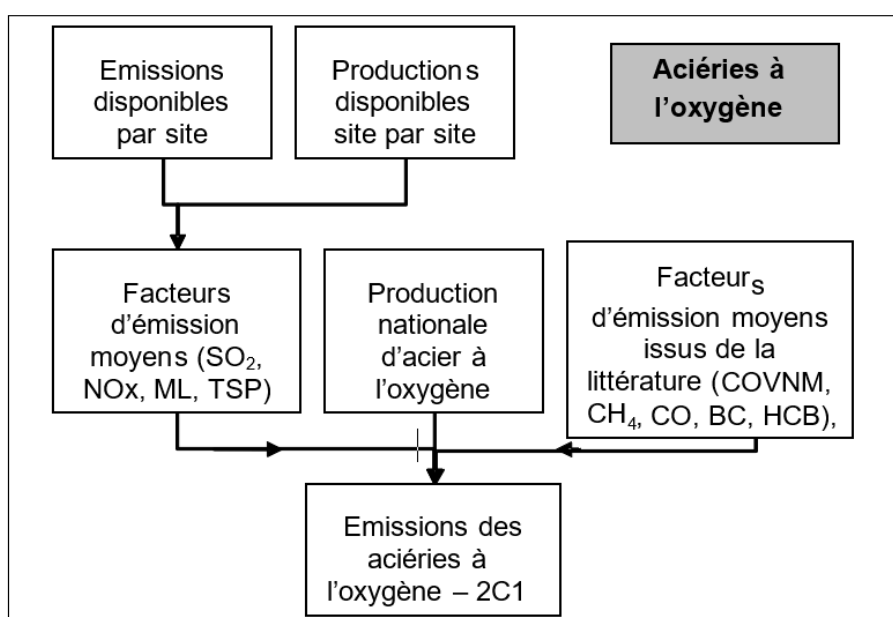
### Estimation des émissions de CO<sub>2</sub> (ensemble du procédé agglomération - haut-fourneau - aciéries) :



## Estimation des émissions – Hauts-fourneaux

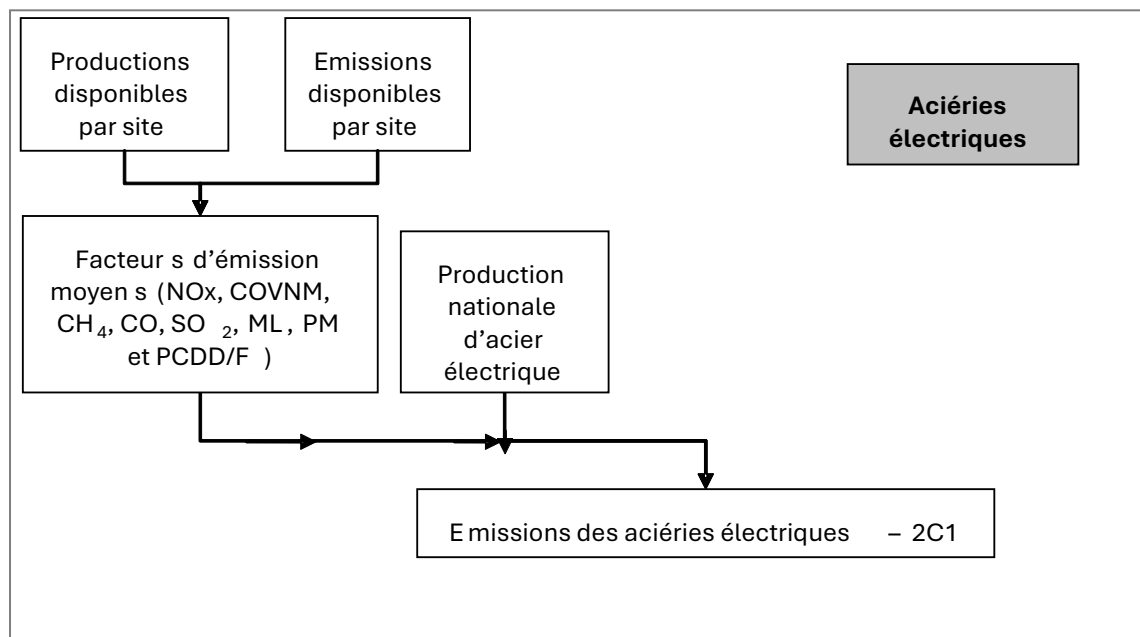


## Estimation des émissions – Aciéries à l'oxygène

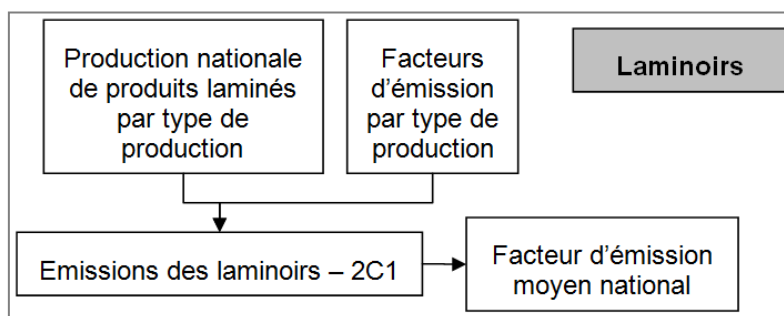




### Estimation des émissions – Aciéries électriques



### Estimation des émissions – Laminaires



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
16/01/2025	MC	31/01/2025	VM

# Ferro-alliages

Cette section couvre la production de ferro-alliages.

## Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	2C2
CEE-NU / NFR	2C2
SNAPc (extension Citepa)	040302
CE / directive IED	2.5
CE / E-PRTR	2e
CE / directive GIC	Hors champ

## Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Volumes de production	Valeurs nationales annuelles Valeurs par défaut

## Niveau de méthode :

Rangs GIEC 1, 2 et 3.

## Références utilisées :

- [19] Base de données du registre des émissions polluantes (BDREP) – Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [50] Données communiquées directement par les exploitants au Citepa
- [418] E. TRUFFAUT – La fabrication du ferro-manganèse aux hauts-fourneaux en France, Soleils d'Acier, 2004
- [538] EMEP/EEA emission inventory guidebook 2016 – Chapitre 2.C.2 Ferroalloys production
- [770] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 2.C.2 Ferroalloys production, Table 3.1 Tier 1 emission factors for source category 2.C.2 Ferroalloys production
- [950] 2006 IPCC Guidelines, Volume 3 chapter 4 – Metal industry - Table 4.7 (pp 4.39)
- [958] USGS, Minerals Yearbook - Ferromanganese and silicomanganese: world production by country
- [959] 2006 IPCC Guidelines, Volume 3 chapter 4 – Metal industry – Table 4.5 (pp 4.37)
- [1087] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019 - Part B section 2C2 Ferroalloys production
- [1317] Groupe ERAMET – Résultats annuels (2017-2023)
- [1318] Inventaire de la Nouvelle-Calédonie – 2C\_Métallurgie

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

Les ferroalliages sont constitués de fer allié à d'autres métaux tels que le manganèse, le chrome ou le nickel. Les matières entrantes subissent un procédé de réduction, grâce à l'apport d'agents réducteurs tels que le coke ou le charbon. Deux types de technologies sont utilisées en France :

- les fours électriques, présents depuis 1978.
- les hauts-fourneaux, présents jusqu'en 2003.

Il subsiste deux sites en activité en métropole (procédé électrique) et trois en Nouvelle-Calédonie (procédé électrique et procédé hydrométallurgique). Les sites présents en Nouvelle-Calédonie (périmètre CCNUCC) utilisent du charbon et de l'antracite et non du coke pour le procédé de réduction.

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

La production nationale de ferroalliages est connue via les déclarations annuelles des sites de métropole [19] à partir de 2005 et par d'autres sources d'information avant 2005 [50][418][958][1317][1318].

Les émissions sont déterminées au moyen de facteurs d'émission provenant de données des exploitants [19] [50] et de valeurs par défaut, ou, pour les sites de Nouvelle-Calédonie, au moyen d'un bilan massique déterminé sur la base des quantités de carbone contenues dans les matières entrantes et les produits.

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

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

#### Métropole

Pour le procédé électrique, le facteur d'émission du CO<sub>2</sub> est déduit des déclarations annuelles [19] ainsi que de données fournies directement par les exploitants [50] à partir de 2000. Pour chaque site, le facteur d'émission de la dernière année connue est appliqué aux années antérieures. Depuis 2003, les données d'émissions de CO<sub>2</sub> sont directement déterminées à partir des déclarations annuelles [19].

Pour le procédé hauts fourneaux, il n'y a plus d'émissions depuis la fermeture du dernier site en 2003. Pour les années antérieures, le facteur d'émission provient des lignes directrices du GIEC 2006 [959].

#### Outre-Mer (périmètre CCNUCC)

Il existe trois sites en Nouvelle-Calédonie depuis l'ouverture d'une installation en 2013. Les facteurs d'émission sur la période sont calculés à partir des productions et émissions connues pour les années 2005 à 2022 pour un premier site, 2013 à 2021 pour un second, 2009 à 2016 pour le troisième. Compte tenu du nombre limité de sites, les facteurs d'émission sont confidentiels.

### **Emissions de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O**

Les émissions de CH<sub>4</sub> sont estimées uniquement pour la production de ferrosilicium et d'alliages de silicium [950]. Un seul site a produit du FeSi puis du silicomanganèse. Les données sont confidentielles.

Les émissions de  $N_2O$  sont négligées [950].

#### **Emissions de Gaz fluorés**

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

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

#### **Emissions de $SO_2$ , $NO_x$ , $CO$ et $COVNM$**

La production de ferroalliage est potentiellement émettrice de  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $CO$  et  $COVNM$ . Certains de ces polluants apparaissent dans les déclarations annuelles selon les sites [19]. Ils sont également cités dans le Guidebook EMEP/EEA [1087] mais ne sont pas estimés. Ces émissions proviendraient éventuellement des matières premières utilisées, suivant le procédé mis en œuvre, et de la combustion (considérée séparément). Compte tenu du peu d'informations disponibles actuellement, ces émissions sont en cours d'investigation pour déterminer la part exacte provenant du procédé.

#### **Emissions de $NH_3$**

Les émissions de  $NH_3$  sont supposées négligeables.

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

Un facteur d'émission moyen est calculé à partir des mesures disponibles depuis 2005 sur les deux sites existants [19].

Compte tenu du nombre limité de producteurs, les données détaillées sont confidentielles.

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

Les émissions de  $PM_{10}$  et  $PM_{2,5}$  sont estimées grâce à la granulométrie fournie dans le Guidebook EMEP/EEA [1087]. Par hypothèse conservatrice, le facteur d'émission des  $PM_{1,0}$  est considéré égal à celui des  $PM_{2,5}$ .

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

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de  $PM_{2,5}$ . Ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA 2019 sur les inventaires d'émissions de polluants (Table 3.1) [1087].

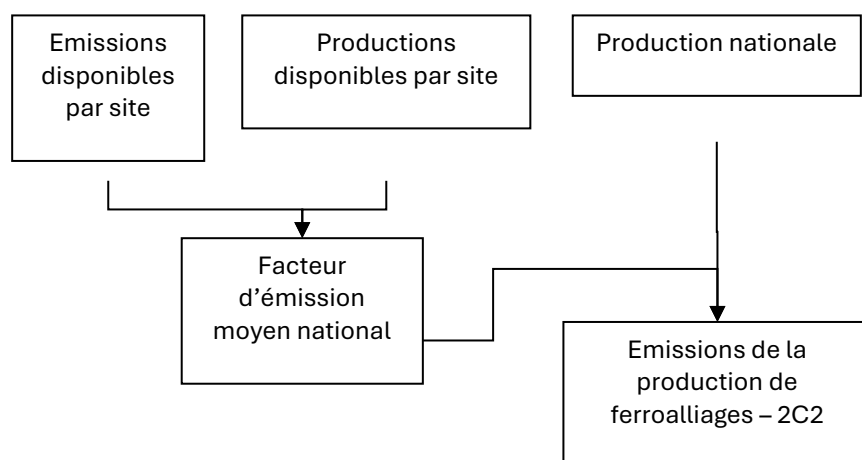
#### **Métaux lourds (ML)**

La production de ferroalliages émet des métaux lourds lors de la fusion. Les émissions dépendent beaucoup du type de ferroalliage produit et de la température de fusion.

Un facteur d'émission moyen est calculé à partir des mesures disponibles depuis 2005 sur les deux sites existants en métropole [19].

Compte tenu du nombre limité de producteurs, les données détaillées sont confidentielles.

Figure 4 - Logigramme du processus d'estimation des émissions.







Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
16/01/2025	MC	31/01/2025	VM

# Production de silicium

Cette section concerne uniquement les émissions de CO<sub>2</sub> procédé de la production de silicium, ferrosilicium et silico-alliages du fait de l'utilisation d'agents réducteurs. Les émissions de CO<sub>2</sub> biomasse ne sont pas rapportées pour cette section car hors périmètre mais les consommations d'agents réducteurs biomasse sont déduites du solde du bilan de l'énergie (cf. section 1A2b).

Les parties relatives à la combustion des installations de production de silicium, ferrosilicium et silico-alliages, sont traitées dans la section 1A2b relative à la combustion d'énergie de l'industrie manufacturière.

## Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	2C2
CEE-NU / NFR	2C2
SNAPc (extension Citepa)	040309
CE / directive IED	2.3 à 2.5
CE / E-PRTR	2c et 2e
CE / directive GIC	Hors champ

## Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Quantités entrantes de réducteurs	Facteurs d'émission spécifiques aux réducteurs et émissions déclarées

## Niveau de méthode :

CO<sub>2</sub> : Rang 2 et 3

CH<sub>4</sub> : Rang 1

## Références utilisées :

[19] Base de données du registre des émissions polluantes (BDREP) – Déclarations annuelles des émissions de polluants

[26] Ministère de l'Industrie, de l'Economie et des Finances (INSEE et anciennement SESSI) et Ministère de l'Agriculture (SCEES puis SSP) – Enquête annuelle sur les consommations d'énergie dans l'industrie (EACEI)

[50] Données communiquées directement par les exploitants au Citepa

[950] 2006 IPCC Guidelines, Volume ,3 chapter 4, table 4.7 (pp 4.39)

[1319] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - Part B section 1A2 Manufacturing industries

## Caractéristiques de la catégorie (NID) :

Certains procédés de la production de silicium, ferrosilicium et silico-alliages, sont à l'origine d'émissions de CO<sub>2</sub> du fait de l'utilisation d'agents réducteurs. La production est réalisée par électroméallurgie dans des fours à arc électrique. La réaction globale est une réaction de carboréduction ( $\text{SiO}_2 + \text{C} \rightarrow \text{Si} + \text{CO}_2$ ), avec des réactions intermédiaires conduisant à la formation de SiC, de SiO. En pratique, le silicium est introduit sous forme de morceaux de silice mélangé à des réducteurs tels que le bois, le charbon de bois, la houille, le coke de pétrole.

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

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

#### Depuis 2013 :

Les données d'émissions de procédé et de consommation par réducteur proviennent des déclarations annuelles [19] sous forme de bilan matière. La part des émissions de procédé parmi les émissions totales est déterminée, le solde correspondant à de la combustion.

#### Entre 2003 et 2012 :

Les émissions de procédé par site sont recalculées à partir des émissions totales déclarées [19] et de la part moyenne des émissions procédé dans les émissions totales sur la période 2013-2015. Les consommations par combustible proviennent des enquêtes statistiques [26] et de recalculs à partir des émissions de procédé par site, de la répartition moyenne des combustibles et des facteurs d'émission spécifiques moyens sur la période 2013-2015.

#### De 1990 à 2002 :

Les émissions sont estimées à partir des données de consommations, issues des enquêtes statistiques [26] ou reportées de l'année 2003, et des facteurs d'émission moyens sur la période 2013-2015.

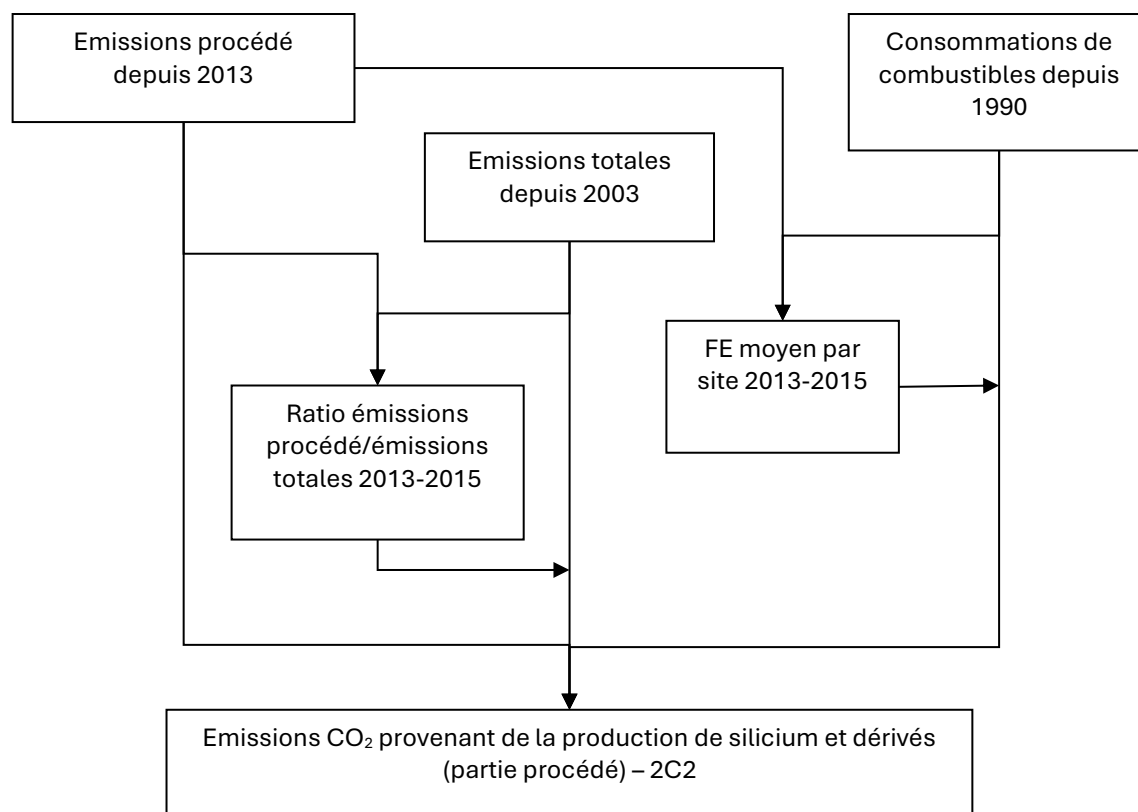
### **Emissions de CH<sub>4</sub>**

Les émissions de CH<sub>4</sub> sont estimées à partir d'une méthodologie Tier 1 et d'un facteur d'émission issu des lignes directrices 2006 [950]. La production n'est pas disponible dans les statistiques sur toute la série temporelle et n'est connue qu'à partir de 2014 pour les 5 sites pris dans le bottom up. La production des années antérieures est estimée à partir des émissions CO<sub>2</sub> et du FE CO<sub>2</sub> moyen des années 2014 à 2016.

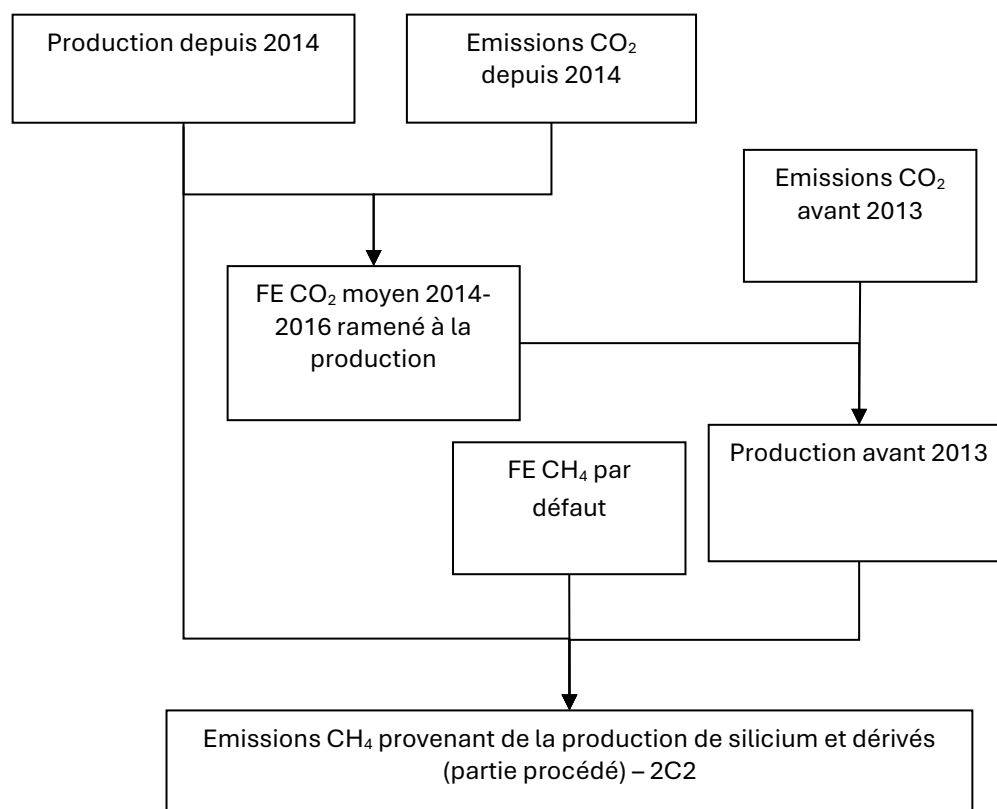
### **Hexachlorobenzène (HCB)**

Les émissions de HCB sont estimées à partir des consommations de combustibles et de facteurs d'émission tirés du Guidebook EMEP/EEA 2023 (tables 3.1 à 3.5) [1319].

**Figure 5 - Logigramme du processus d'estimation des émissions de CO<sub>2</sub> relatives au procédé de production de silicium**



**Figure 6 - Logigramme du processus d'estimation des émissions CH<sub>4</sub> relatives au procédé de production de silicium**



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
28/01/2025	AT	31/01/2025	VM

# Aluminium de première fusion

L'activité concernée dans cette section est la production d'aluminium primaire par électrolyse. Tous les sites sont situés en métropole. A la suite de la fermeture d'un site au début des années 2000, puis d'un second en 2008, il reste actuellement deux sites de production d'aluminium de première fusion en France. Depuis 2014, à la suite du rachat de l'un des deux sites, un centre de recherche auparavant rattaché à ce site fait une déclaration séparée (faibles volumes de production). La production d'aluminium primaire émet du SO<sub>2</sub>, des COVM, du CO, du CO<sub>2</sub>, des PFC, l'ensemble des métaux lourds inventoriés, des HAP, ainsi que des particules.

## Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	2C3
CEE-NU / NFR	2C3
SNAPc (extension Citepa)	040301
CE / directive IED	2.5
CE / E-PRTR	2e
CE / directive GIC	Hors champ

## Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Volumes de production	Valeurs spécifiques calculées à partir des émissions et de la production

## Niveau de méthode :

GES : Rang 3

TSP, SO<sub>x</sub>, COVM : Rang 2 et 3

CO, ML, PM, HAP : Rang 2

## Références utilisées :

[19] Base de données du registre des émissions polluantes (BDREP) – Déclarations annuelles des émissions de polluants

[53] SESSI / INSEE – Bulletin mensuel de statistique industrielle

[70] Citepa – BOUSCAREN R. – Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996

[188] AER – Facteurs d'émission pour certains polluants organiques persistants : PCP, HAP, HCB et PCP, octobre 2004 (rapport pour Citepa, non publié)

[222] Données internes à Rio Tinto Alcan

[223] Société de l'industrie minière – Annuaire Statistique Mondial de Minerais et Métaux

[541] Site internet de l'association de l'aluminium du Canada (AAC)

[742] Pechiney – Vérification des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre de l'Engagement Volontaire AERES – Périmètre France Années 2001, 2002 et 2003. Octobre 2004

[1079] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2023, Part B section 2C3 Aluminium production

[1208] GIEC – Lignes directrices 2006, Volume 3, Chapitre 4, section 4.4.2.1

## Caractéristiques de la catégorie :

L'**aluminium de première fusion** est obtenu par électrolyse de l'alumine selon le procédé découvert en 1886 par le français Paul Héroult et l'américain Charles Hall (procédé Hall-Héroult). Une usine de production d'aluminium primaire comporte trois secteurs : le secteur « carbone », le secteur « électrolyse » et le secteur « fonderie » :

- **Secteur « carbone » :**

Le secteur « carbone » est le siège de la fabrication des anodes qui serviront à l'électrolyse. Il comprend une tour à pâte, un four à cuire et un atelier de scellement.

Les anodes sont produites à partir de coke de pétrole, de brai liquide et de recyclés d'anodes pour former une pâte. Deux types d'anodes existent : les anodes SØderberg et les anodes précuites. Le procédé de SØderberg produit les anodes en continu, au sein même des cuves d'électrolyse. Ce

procédé n'est plus utilisé en France, au profit du procédé des anodes précuites. Celles-ci sont fabriquées à l'extérieur de l'unité d'électrolyse. La pâte est mélangée dans une tour à pâte, puis cuite lentement à environ 1 100 °C dans un four à cuire, afin d'obtenir un bloc de carbone solide. L'anode cuite est ensuite scellée à des rondins d'acier surmontés d'une tige en aluminium, elle-même soudée aux rondins grâce à de la fonte.

Environ 430 kg d'anode sont nécessaires pour produire une tonne d'aluminium. Le procédé est schématisé sur la figure ci-contre (source : Association de l'Aluminium du Canada (AAC)[541]).

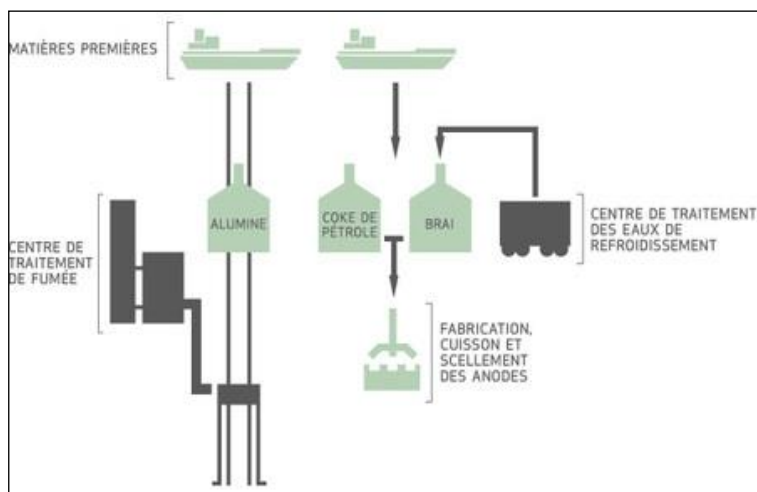


Figure 7 : Schéma de la production d'anodes précuites

- **Secteur « électrolyse » :**

Le procédé consiste à réduire par électrolyse l'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dissoute dans un bain de cryolithe ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) à environ 1 000°C. La cuve dans laquelle se trouve le bain cryolithique fait office de cathode. Un courant électrique de haute densité traverse la cuve d'électrolyse. Ce procédé est électro intensif (environ 14 MWh sont nécessaires pour produire une tonne d'aluminium). L'aluminium se dépose au fond de la cuve tandis que les anodes en carbone se consomment. L'oxygène provenant de l'alumine réagit avec le carbone des anodes et engendre des émissions de  $\text{CO}_2$ . Cette consommation de carbone oblige à remplacer régulièrement les anodes. Une tonne d'aluminium produite nécessite environ deux tonnes d'alumine. L'aluminium liquide se dépose au fond de la cuve et est régulièrement prélevé par "siphonage" dans une poche, qui est transférée dans un four d'attente à la fonderie. Les cuves sont entièrement capotées afin de capter les gaz qui s'échappent du bain lors de l'électrolyse (ces gaz contiennent notamment du fluor provenant de la cryolithe) et de les envoyer vers un dispositif

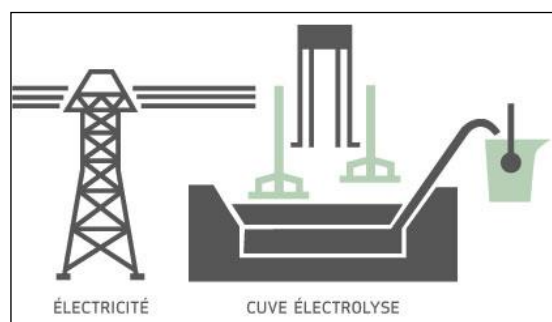


Figure 8 : Schéma du procédé de production d'aluminium dans une cuve d'électrolyse

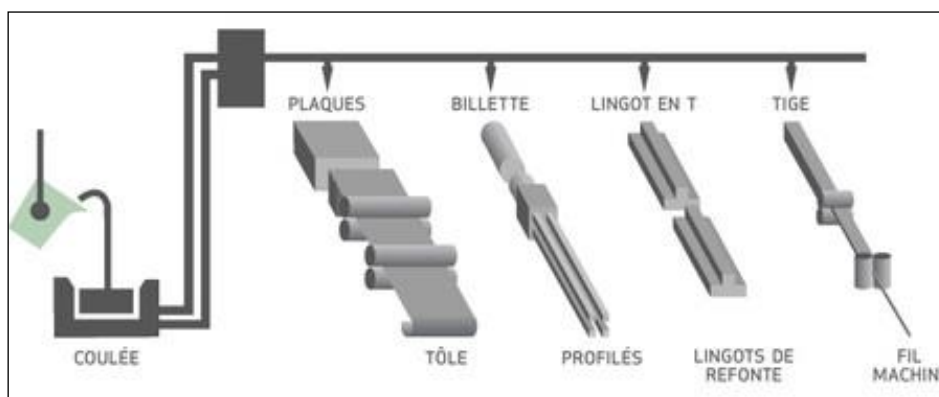
d'épuration où le fluor est récupéré par fixation sur de l'alumine fraîche. Le procédé peut être schématisé comme ci-dessus (AAC).

- **Secteur « fonderie » :**

Ce secteur est dédié à la production d'alliages. A la sortie de la cuve d'électrolyse, les alliages sont effectués dans un four. D'autres métaux sont ajoutés à l'aluminium dans des proportions précises pour obtenir des alliages aux propriétés souhaitées par les clients. L'aluminium est dégazé avant d'être libéré des dernières impuretés, pour enfin être solidifié sous des formes variées :

- des plaques de laminage pour la fabrication de tôles utilisées pour les ailes d'avion, les citernes, les bardages, etc. ;
- des billettes de filage pour la fabrication de châssis et armatures de véhicules ferroviaires et routiers, la menuiserie métallique, les bâtons de ski, etc. ;
- du fil machine à usage électrique essentiellement ;
- des lingots en aluminium ou en alliages destinés notamment à la fonderie pour la fabrication de pièces automobiles.

**Figure 9 : Aluminium sous diverses formes**



La première fusion de l'aluminium est une source importante d'émissions de perfluorocarbures (PFC). Ces gaz fluorés se forment au cours d'un phénomène appelé « effet d'anode », quand les niveaux d'alumine ne sont pas suffisants dans la cuve d'électrolyse. En cas d'effet d'anode, la tension de la cellule augmente très soudainement. L'anode en carbone est alors consommée par les sels fluorés du bain électrolytique, conduisant à l'émission de  $CF_4$  et  $C_2F_6$ .

## Caractéristiques de la catégorie (NID et IIR)

L'aluminium primaire est obtenu par électrolyse de l'alumine dans un bain de cryolithe (contient du fluor) qui constitue la cathode, et des anodes en carbone. En fonction du type d'anode utilisé, il existe deux technologies de production de l'aluminium primaire : la méthode Söderberg et la méthode des anodes précuites. Le procédé Söderberg produit les anodes en continu, au sein même des cuves d'électrolyse. Ce procédé n'est plus utilisé en France, au profit du procédé des anodes précuites. Celles-ci sont fabriquées à l'extérieur de l'unité d'électrolyse. Pour la méthode de production avec les anodes précuites, deux types de technologies existent :

- la plus ancienne, dénommée SWPB (side-worked, ou piquage latéral) correspondant à une alimentation mécanisée sur les côtés de la cuve d'électrolyse,
- la plus récente, dénommée CWPB (centre-worked, ou piquage central) correspondant à une alimentation ponctuelle automatique au centre de la cuve.

La technologie CWPB est moins émettrice de PFC car elle limite les effets d'anode à l'origine des émissions, et permet la mise en place de système de captage et de traitement des rejets. L'effet d'anode se produit lorsque l'alumine vient à manquer dans le bain de cryolithe. En 1990, 39% de la production était réalisée par des sites CWPB (2 sites), contre 100% depuis 2008.



Depuis 2008, il ne reste plus que deux sites de production en France, contre 8 en 1991. Les faibles productions d'un centre de recherche à proximité d'un site sont déclarées séparément depuis 2014.

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

La production d'aluminium primaire est recensée au niveau national dans les statistiques industrielles [53, 223] depuis 1990 et par installation via les déclarations annuelles de rejets dans l'environnement [19] à partir de 2003. Les émissions sont déterminées au moyen de données spécifiques et de facteurs d'émission issus de la profession [19, 222, 742] ou par défaut.

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

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

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées au procédé sont induites par la réaction des anodes en carbone avec l'oxygène généré par l'électrolyse et une réaction secondaire avec l'air. Elles représentent environ 85 % des émissions totales de CO<sub>2</sub> sur un site de production d'aluminium primaire. Une petite partie des émissions de CO<sub>2</sub> provient de la production d'anodes, compte tenu de l'utilisation de coke de pétrole et de brai en tant que matières premières.

Ces émissions sont déterminées sur la base des informations fournies par les producteurs, site par site, dans le cadre du système d'engagement volontaire AERES de 1990 à 2004 [222, 742]. Ces données ont fait l'objet de vérifications externes. A partir de 2005, les données sont obtenues à partir des déclarations annuelles [19] ou communiquées par les exploitants [222].

L'évolution du facteur d'émission de CO<sub>2</sub> est notamment influencée par le nombre et l'intensité des effets d'anode, lorsque l'anode en carbone est consommée prématurément.

En cas de données manquantes, les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la consommation d'anodes précuites sont calculées à partir des Lignes directrices du GIEC sur la base des données transmises par les exploitants [1208].

### **Emissions de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O**

Il n'y a pas d'émission de CH<sub>4</sub> ou de N<sub>2</sub>O pour cette activité.

### **Emissions de Gaz fluorés**

#### SF<sub>6</sub>

En règle générale, le procédé n'est pas émetteur de SF<sub>6</sub> hormis au niveau des postes électriques dans lesquels ce gaz est utilisé en tant qu'isolant. Dans l'inventaire, ce poste est traité dans la section 2G et par conséquent n'est pas repris ici.

Pour mémoire, indépendamment des postes électriques, le SF<sub>6</sub> a été utilisé en très faible quantité en fonderie par un seul site pendant 3 années. Les émissions marginales afférentes, qui ne dépassent pas 4kg de SF<sub>6</sub> par an au maximum en 2010, ont été déclarées par l'exploitant [19]. Depuis 2012, l'exploitant indique ne plus consommer de SF<sub>6</sub> en fonderie [19].

#### PFC

Les seuls gaz fluorocarbonés émis sont des perfluorocarbures (PFC). La production d'aluminium par électrolyse entraîne des émissions de PFC par effet d'anode, lorsque l'alumine vient à manquer dans la cuve d'électrolyse. Les PFC impliqués sont le CF<sub>4</sub> et le C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>.

De 1990 à 2004, les émissions de  $\text{CF}_4$  et de  $\text{C}_2\text{F}_6$  sont communiquées par Rio Tinto Alcan dans le cadre du système d'engagement volontaire AERES [222, 742]. Ces données ont fait l'objet de vérifications externes. En 2005 et 2006, les données d'émission proviennent des déclarations annuelles des différents sites [19]. De 2007 à 2012, les données d'émission de  $\text{CF}_4$  et de  $\text{C}_2\text{F}_6$  proviennent de communications avec les exploitants [222]. A noter que pour un site fermé en 2008, les émissions de  $\text{CF}_4$  et de  $\text{C}_2\text{F}_6$  entre 2006 et 2008 sont estimées à partir des émissions globales de PFC déclarées et de la répartition  $\text{CF}_4/\text{C}_2\text{F}_6$  de 2005.

Depuis 2013, la production d'aluminium primaire entre dans le champ du système d'échange de quotas d'émission [SEQUE] de gaz à effet de serre de l'Union européenne, les émissions distinctes de  $\text{CF}_4$  et  $\text{C}_2\text{F}_6$  sont désormais disponibles dans les déclarations annuelles des émissions [19] et sont utilisées.

Depuis 1990, les sites se sont engagés à réduire « l'effet d'anode », très émetteur de PFC, à travers la mise en place de nouvelles technologies et d'un contrôle plus performant de la quantité d'alumine. La mise en œuvre de ces technologies ainsi que l'arrêt en 2009 d'un site très émetteur de PFC explique la diminution des facteurs d'émission au cours du temps.

**Figure 10 : Récapitulatif des données d'émissions pour les GES du secteur de l'aluminium de première fusion**

	1990	2004 - 2005	2006 - 2007	2012 - 2013
$\text{CO}_2$			Déclarations annuelles de rejets GERE [19]	
PFC	Emissions estimées dans le cadre de l'AERES par les producteurs [222,742]	Déclarations annuelles de rejets GERE [19]	Données internes communiquées pour tous les sites [19]	Déclarations annuelles de rejets GERE – Emissions déclarées au titre du SEQUE [19]

L'ensemble des émissions de GES sur la série temporelle provient de données fournies, par site, par les exploitants et vérifiées pour la quasi-totalité des années. Le périmètre considéré pour les émissions couvre tous les sites producteurs et est constant sur l'ensemble de la série, mise à part les fermetures de sites depuis 1990. Pour les PFC, la méthodologie correspond à une approche bottom-up assimilée à un rang 3 puisque les émissions de PFC sont obtenues à partir de la méthode internationale de l'IAI (International Aluminium Institute) et du règlement UE n°601/2012. Pour information, les 2 principaux sites producteurs encore en activité utilisent la méthode des pentes. Pour le  $\text{CO}_2$ , la méthodologie correspond à une approche bottom-up assimilée à un rang 3 puisque les émissions collectées sont déterminées à partir de la consommation d'anodes et d'analyses. Par ailleurs, depuis 2013 les exploitants appliquent le règlement UE n°601/2012 dont la méthode est basée sur les lignes directrices 2006 du GIEC.

Malgré le fait que la production, sur la période 1990-2002, provienne de données statistiques non détaillées par site, le facteur d'émission global de  $\text{CO}_2$  est cohérent sur toute la série temporelle car l'ordre de grandeur est constant et reste proche des valeurs indiquées dans les lignes directrices 2006 du GIEC.

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

### Emissions de $\text{SO}_2$

La teneur en soufre des anodes est variable et dépend de la provenance des matières premières utilisées pour leur production, telles que le coke de pétrole ou le brai. Le soufre est émis sous forme de  $\text{SO}_2$  lors de la phase d'électrolyse (consommation des anodes). Le calcul du facteur d'émission annuel est basé sur les émissions de  $\text{SO}_2$  dans les déclarations annuelles depuis 1994 [19] et sur la production. Le facteur d'émission de 1994 est appliqué aux années antérieures.

### Emissions de $\text{NO}_x$

En ce qui concerne les émissions de  $\text{NO}_x$ , la notation key « IE » est utilisée. Il est difficile de séparer les émissions de combustion des émissions de procédé, donc ces émissions sont incluses dans la catégorie 1A2b. La technologie utilisée

dans les fonderies d'aluminium est celle des anodes précuites et les émissions de NOx proviennent principalement de la cuisson des anodes. Emissions de COVNM

Les émissions de COVNM proviennent des déclarations TGAP à partir de 1995, puis des déclarations annuelles [19] à partir de 2003. Entre 2007 et 2010, pour les sites dont les données manquent, les émissions sont calculées à partir des mesures ponctuelles de concentration fournies par les exploitants [222], des débits volumiques des effluents et des temps de fonctionnement des unités de production. Le facteur d'émission de 1995 est appliqué aux années antérieures.

Les déclarations des exploitants reposant sur des mesures ponctuelles des rejets de COVNM, donc les résultats d'émission peuvent être très fluctuants, selon la marche opérationnelle de l'installation au moment de la mesure.

### **Emissions de CO**

Faute de données disponibles dans les déclarations annuelles, le facteur d'émission du CO provient du Guide EMEP/EEA [1079].

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

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont supposées négligeables.

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

La production d'aluminium de première fusion émet des particules, principalement des poussières d'alumine et de cryolithe. Les émissions de particules sont déterminées à partir de communications avec la profession pour les années 1990 à 1998 [222] et tirées des déclarations annuelles de rejets à partir de 2002 [19]. Les facteurs d'émission des années intermédiaires sont interpolés.

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

La granulométrie, qui correspond à un pourcentage des TSP, est issue du Guide EMEP/EEA 2023 [1079] et appliquée aux émissions de TSP. Faute de valeur disponible, le facteur d'émission pour les PM<sub>1,0</sub> est supposé identique à celui des PM<sub>2,5</sub>.

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

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA 2023 [1079] pour la production d'aluminium primaire.

### **Métaux lourds (ML)**

La production d'aluminium de première fusion émet l'ensemble des métaux lourds inventoriés dans le SNIEBA. Ces composés sont présents à l'état de traces dans l'alumine et le fluorure d'aluminium et sont émis lors de la phase d'électrolyse.

La méthodologie d'estimation des émissions de métaux lourds est en partie basée sur des facteurs d'émission provenant de la littérature [70]. Les métaux lourds étant majoritairement présents sous forme particulaire, les facteurs d'émission varient dans le temps pour prendre en compte les efforts de réduction des émissions de particules.

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

Il est difficile de séparer les émissions de combustion des émissions de procédé, donc les émissions de PCDD-F sont incluses dans la catégorie 1A2b.

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

Les émissions sont déterminées pour cinq HAP (FluorA, BaA, BkF, BaP, BghiPE) dont les facteurs d'émission proviennent de l'étude AER [188]. Les émissions des HAP BbF et IndPy sont estimées grâce aux facteurs d'émission issus du Guidebook EMEP/EEA 2023 pour le niveau 2 (Tier 2) pour les anodes précuites [1079].

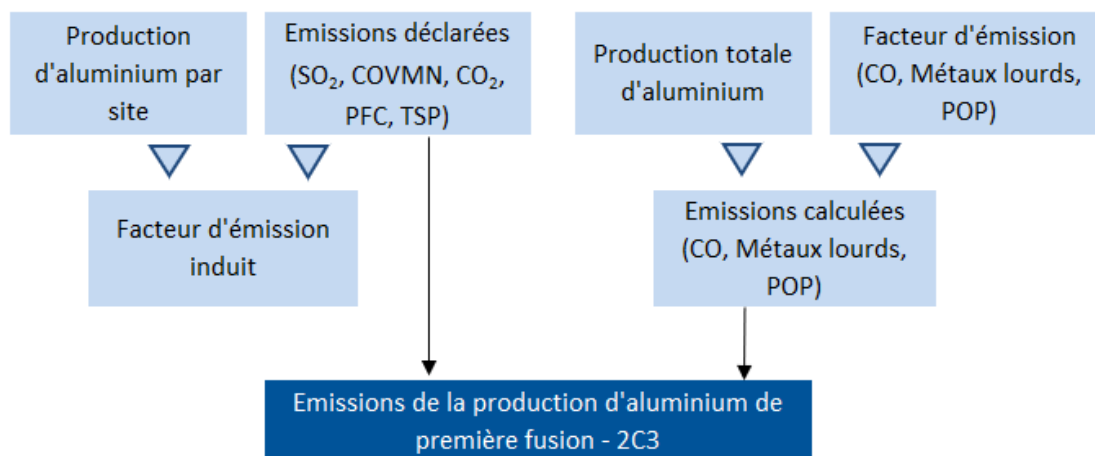
### **Polychlorobiphényles (PCB)**

Il n'y a pas d'émission de PCB attendue pour cette activité.

**Hexachlorobenzène (HCB)**

Il est difficile de séparer les émissions de combustion des émissions de procédé, donc les émissions de HCB sont incluses dans la catégorie 1A2b.

**Figure 11 : Logigramme du processus d'estimation des émissions de la production d'aluminium de première fusion**



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
21/01/2025	RK	31/01/2025	VM

## Production de magnésium

Les émissions de CO<sub>2</sub> et de SF<sub>6</sub> engendrées lors de la décarbonatation de dolomie pour produire le magnésium sont comptabilisées dans le CRT 2C7. Les émissions de HFC de cette activité sont incluses dans le CRT 2F5b. Les autres émissions en rapport avec l'utilisation de l'énergie sont traitées dans la section combustion d'énergie de l'industrie manufacturière dans le CRT 1A2b. Les émissions de CO de la production de magnésium ne sont pas estimées faute de données, de méthodes ou de facteurs d'émission pertinents pour ce secteur dans les lignes directrices EMEP/EEA 2023.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	2C4
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension Citepa)	040631
CE / directive IED	-
CE / E-PRTR	-
CE / directive GIC	-

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Inclus ailleurs (IE) : 2C7	

### Niveau de méthode :

-

### Références utilisées :

-

## Caractéristiques de la catégorie (communes au NID) :

-

## Méthode d'estimation des émissions de GES :

-

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
18/01/2023	MS	10/02/2023	JV

## Production de zinc

Cette section concerne uniquement les émissions CO<sub>2</sub> liées aux procédés impliqués dans la production de zinc, première et seconde fusion. En effet, certains procédés sont émetteurs de CO<sub>2</sub> du fait de l'utilisation de carbonates et d'agents réducteurs, notamment pour la neutralisation d'acides divers.

Les parties relatives à la combustion des installations de production de zinc, première et seconde fusion, sont traitées dans la section 1A2b relative à la combustion d'énergie de l'industrie manufacturière.

### Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	2C6
CEE-NU / NFR	2C6
SNAPc (extension Citepa)	040309
CE / directive IED	2.5
CE / E-PRTR	2e
CE / directive GIC	Hors champ

### Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Production de zinc	Facteur d'émission recalculé à partir des émissions déclarées et par bilan matière

### Niveau de méthode :

Rangs 2 et 3.

### Références utilisées :

[19] Base de données du registre des émissions polluantes (BDREP) – Déclarations annuelles des émissions de polluants

[714] Recytech - Communications annuelles

## Caractéristiques de la catégorie (NID) :

Au cours de la production de zinc, première et seconde fusion, certains procédés sont émetteurs de CO<sub>2</sub> du fait de l'utilisation de carbonates et d'agents réducteurs, notamment pour la neutralisation d'acides divers. Des minerais concentrés de sulfure de zinc et des concentrés issus de l'industrie métallurgique riches en zinc sont également utilisés. Ils peuvent contenir des traces de carbone sous la forme graphite ou carbonate. Lors du grillage du minerai, la part carbone du minerai émet du CO<sub>2</sub>, soit par combustion du graphite, soit par décomposition du carbonate.

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

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

Très peu de sites en France sont concernés par les émissions de procédés liées à la production de zinc, première et seconde fusion.

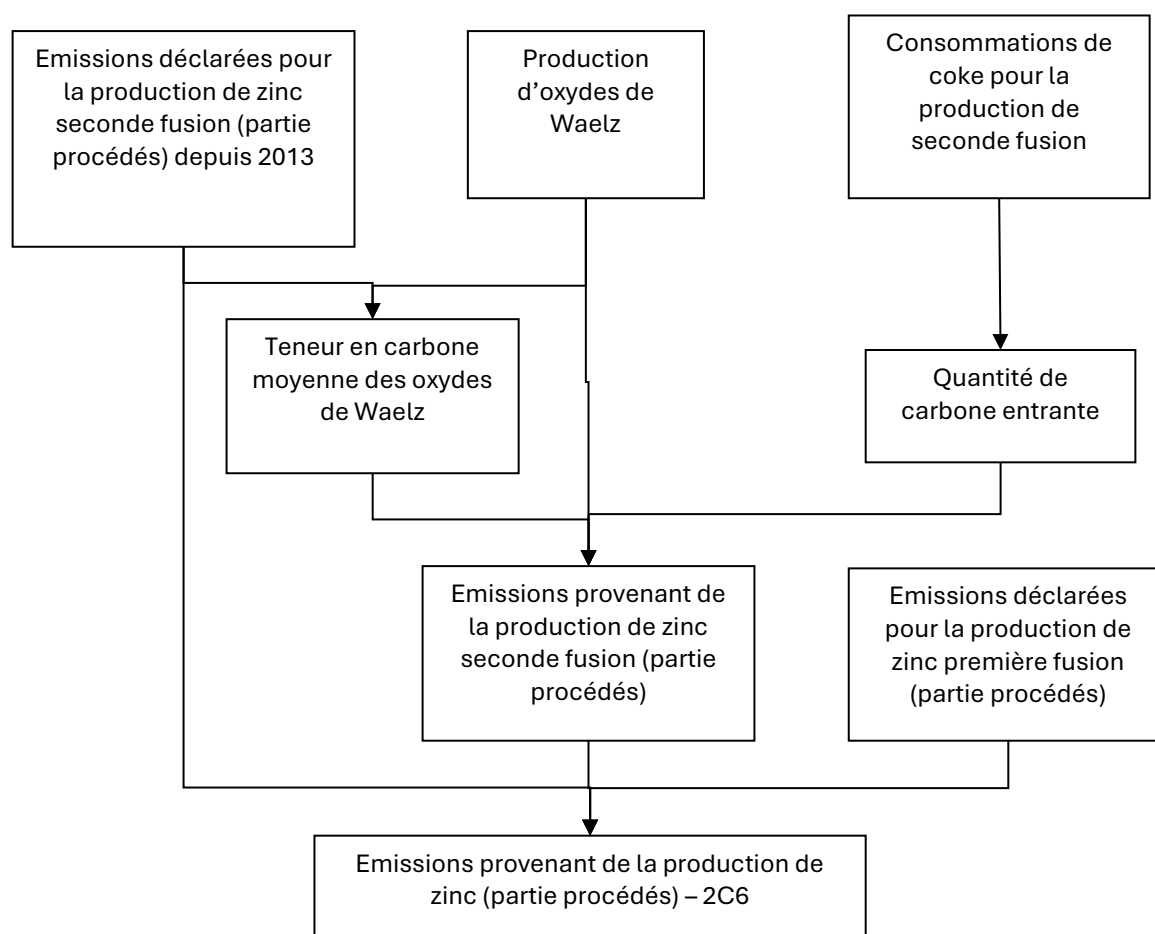
Les émissions de procédés de ces sites sont déterminées :

- Pour la production de zinc première fusion : à partir des déclarations annuelles [19],
- Pour la production de zinc seconde fusion : à partir des déclarations annuelles par bilan matière depuis 2013 [19]. Avant 2013, les émissions sont calculées à partir des quantités de carbones entrantes, liées aux consommations de coke (agent réducteur) communiquées par l'exploitant [714], et des quantités de carbone sortantes, calculées à partir de la production d'oxydes de Waelz [714] et de la teneur en carbone moyenne des oxydes de Waelz pour les années 2013 à 2015.

Compte tenu du faible nombre de sites concernés, les facteurs d'émission associés sont confidentiels.

Les autres gaz à effet de serre ne sont pas concernés par les émissions liées aux procédés relatifs à la production de zinc.

**Figure 12 : Logigramme du processus d'estimation des émissions liées à la production du zinc**



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
31/01/2025	VM	31/01/2025	JV

# Broyage de batteries

Cette section concerne les émissions de plomb et de particules liées au broyage de batteries.

## Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	2C7
CEE-NU / NFR	2C7
SNAPc (extension Citepa)	040309
CE / directive IED	2.5
CE / E-PRTR	2e
CE / directive GIC	Hors champ

## Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
-	Emissions déclarées par site

## Niveau de méthode :

Rang 3.

## Références utilisées :

[19] Base de données du registre des émissions polluantes (BDREP) – Déclarations annuelles des émissions de polluants

[1078] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2023, Part B section 2C5 Lead production

[1079] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2023, Part B section 2C3 Aluminium production

# Caractéristiques de la catégorie (IIR) :

Les sites concernés étaient tous, en premier lieu, des sites de production de plomb de deuxième fusion. Tous ont connu une réduction d'activité, abandonnant la production de plomb deuxième fusion mais conservant le broyage de batteries sur site. Les émissions de plomb et de poussières de ces sites ne sont pas liées à la combustion (cf. section générale énergie), mais bien au procédé concerné, ici le broyage de batteries.

En 2001, un seul site était concerné par le broyage de batteries uniquement. De 2002 à 2004, deux sites étaient concernés par cette activité, sites fermés l'année suivante. Depuis 2012, un nouveau site de production de plomb de deuxième fusion connaît une réduction d'activité mais conserve ses activités de broyage de batteries uniquement. En 2020, ce dernier site français a cessé son activité de broyage de batterie.



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

Les émissions de plomb et de poussières de ces sites, liées au broyage de batteries, sont déterminées à partir des déclarations annuelles de rejets [19]. Pour des raisons de confidentialité, dues au faible nombre de sites impliqués dans le broyage de batteries, les facteurs d'émission associés ne peuvent être affichés.

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

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

Les émissions de particules totales des sites concernés sont disponibles dans les déclarations annuelles des rejets [19]. Dans le cas où la donnée n'est pas disponible dans les déclarations annuelles, les émissions de poussières par site sont calculées à partir d'une corrélation avec l'évolution des émissions de plomb. Pour des raisons de confidentialité, dues au faible nombre de sites concernés, les facteurs d'émission de plomb associés ne peuvent être publiés.

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

La granulométrie n'est pas indiquée dans les déclarations annuelles et il existe peu d'informations spécifiques au broyage de batteries dans la littérature. Les émissions de  $PM_{10}$  et  $PM_{2,5}$  sont déterminées à partir des émissions de TSP et de ratios granulométriques calculés à partir de la section 2C, du Guidebook EMEP/EEA 2023, relative à la production du plomb [1078]. Faute de valeur disponible, le facteur d'émission pour les  $PM_{1,0}$  est supposé identique à celui des  $PM_{2,5}$ .

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

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de  $PM_{2,5}$ , ce ratio provient du Guidebook EMEP/EEA 2023 [1079]. La valeur retenue est la même que celle utilisée dans la section relative à la production de plomb primaire et secondaire.

### **Métaux lourds (ML)**

Seul le plomb est émis en quantité significative sous forme particulaire par le procédé de broyage de batteries.

Les émissions de plomb des sites concernés sont disponibles dans les déclarations annuelles des rejets [19]. Pour des raisons de confidentialité, dues au faible nombre de sites concernés, les facteurs d'émission de plomb associés ne peuvent être affichés.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
28/01/2025	AT	31/01/2025	VM

# Décarbonatation dans les fonderies de fonte

Ce paragraphe permet d'introduire la méthode de calcul des différentes sources émettrices de CO<sub>2</sub> en termes de décarbonatation dans les fonderies de fonte.

## Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	2C7
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension Citepa)	040631
CE / directive IED	3.4 / 1.1 (partiel)
CE / E-PRTR	3f / 1c (partiel)
CE / directive GIC	Hors champ

## Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Bottom-up intégral (toutes les installations sont considérées individuellement)	Spécifiques de chaque installation considérée individuellement

## Niveau de méthode :

A partir de 2013 : rang GIEC 3. Avant 2013 : rang GIEC 2.

## Références utilisées :

[19] Base de données du registre des émissions polluantes (BDREP) – Déclarations annuelles des émissions de polluants

[763] GIEC – Guidelines 2006, Volume 3, Chapitre 2, Mineral industry - Table 2.1

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

Quatre sites de fonderie de fonte déclarent des émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'utilisation de produits carbonés : castine, chaux, carbure de silicium, etc., qui servent de fondants.

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

Les données de consommation de matières carbonées sont connues depuis 2013 via les déclarations annuelles [19].

Avant 2013, faute de données, il est supposé que les consommations de carbonates sont constantes dans le temps sauf pour un site pour lequel on dispose de ces données sur la période 2005-2012 (communication directe du site).

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

### Méthode mise en œuvre

Il convient de distinguer trois périodes :

A partir de 2020, les émissions de CO<sub>2</sub> proviennent directement des déclarations annuelles [19] pour les quatre sites recensés.

Entre 2013 et 2019 inclus : pour trois sites, les émissions de CO<sub>2</sub> proviennent directement des déclarations annuelles [19] et pour le dernier site, les émissions sont calculées à partir de la consommation de matières carbonées et des facteurs d'émission par défaut des matières carbonées présentées ci-après.

Avant 2013 : pour trois sites, les émissions de CO<sub>2</sub> de l'année 2013 sont reportées sur la période 1990-2012 et pour un site, les émissions sont estimées à partir des consommations de matières carbonées et des facteurs d'émission par défaut.

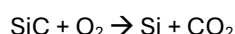
### Facteurs d'émission CO<sub>2</sub>

Les matières carbonées utilisées par leurs fondeurs de fonte sont de trois types :

- castine
- carbure de silicium
- carbure de calcium

Le facteur d'émission pour la castine est celui du calcaire, arrondi à 440 kg/t [763].

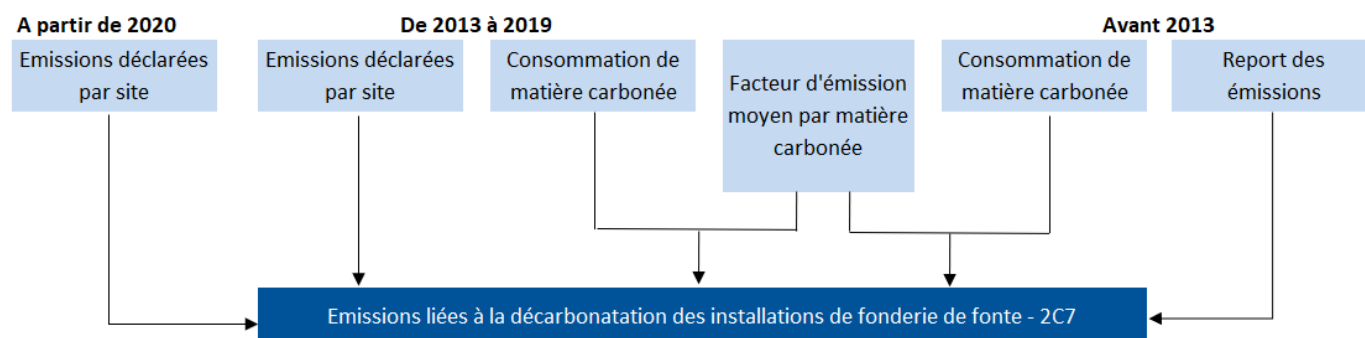
Pour le carbure de silicium, le facteur d'émission n'est pas disponible dans la littérature (GIEC) donc il est fait l'hypothèse que l'équation suivante est stœchiométrique.



La teneur en carbone dans le composé SiC est de 0,3 (12 / (12+28,09)) et donc le facteur d'émission est de 1 097 kg/t.

Pour le carbure de calcium, une valeur de 1 100 kg/t est retenue par le Citepa dans l'inventaire.

**Figure 13 : Logigramme du processus d'estimation des émissions des fonderies de fonte**



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
21/01/2025	RK	31/01/2025	VM

# Production de magnésium

Cette section s'intéresse aux émissions de SF<sub>6</sub> ainsi qu'aux émissions de CO<sub>2</sub> engendrées lors de la décarbonatation de dolomie pour produire le magnésium. Les émissions de HFC de cette activité sont incluses dans le CRT 2F5b. Les autres émissions en rapport avec l'utilisation de l'énergie sont traitées dans la section combustion d'énergie de l'industrie manufacturière dans le CRT 1A2b.

## Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	2C7
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension Citepa)	030323 et 040631
CE / directive IED	2.5 (pour partie)
CE / directive GIC	Hors champ

## Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Volumes de production	Valeurs nationales annuelles (gaz fluorés) Valeur par défaut (décarbonatation)

## Niveau de méthode :

SF<sub>6</sub> et HFC : Rang 2

CO<sub>2</sub> : Rang 3

## Références utilisées :

- [19] Base de données du registre des émissions polluantes (BDREP) – Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [50] Données communiquées directement par les exploitants au Citepa
- [222] Données internes à Rio Tinto Alcan
- [223] Société de l'industrie minérale – Annuaire Statistique Mondial de Minerais et Métaux
- [528] IPCC Guidelines for National Greenhouse Gases Inventories – 2006, Chapitre 4 : Metal Industry Emissions, p4.65
- [529] IPCC Guidelines for National Greenhouse Gases Inventories de 1996 – Page 2.7

## Caractéristiques de la catégorie (NID) :

### a. Première fusion

Voir descriptif en section 1A2b relative à la combustion d'énergie.

Le SF<sub>6</sub> était utilisé comme gaz inertant pour la production de magnésium notamment, en raison de la complexité du procédé. Un seul site de production de magnésium de première fusion a fonctionné jusqu'en 2002 et a transmis ses consommations de SF<sub>6</sub> [222]. Il y avait donc des émissions de SF<sub>6</sub> dues à des fuites lors de la production [222].

Le procédé de fabrication utilise la dolomie (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) comme matière première ce qui engendre des émissions de CO<sub>2</sub> sous l'effet de la chaleur (décarbonatation).

L'activité retenue correspond à la quantité de dolomie consommée par l'unique site producteur jusqu'en 2002. Ces données sont confidentielles.

### b. Seconde fusion

Outre le site précédemment évoqué après transformation, il existe également d'autres sites de production de magnésium de seconde fusion qui utilisent aussi le SF<sub>6</sub> comme gaz inertant. Depuis 2009, du HFC-134a est utilisé sur un site en complément et substitution du SF<sub>6</sub>. Conformément au règlement n° 517/2014 du 16/04/2004 relatif au gaz à effet de serre fluorés, le SF<sub>6</sub> pour le moulage sous pression du magnésium et le recyclage des alliages de magnésium moulés sous pression a été interdit à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2018.

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

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

Un seul site de production de magnésium existe en France. Il a fermé en 2002.

Ce site utilise la dolomie (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) comme matière première qui va engendrer des émissions de CO<sub>2</sub> sous l'effet de la chaleur (décarbonatation).

De 1990 à 2002, la production de magnésium de première fusion de l'unique site est connue [223]. Les lignes directrices du GIEC 2006 [528] fournissent le facteur d'émission de CO<sub>2</sub> lié à la décarbonatation par tonne de magnésium produit. Les émissions de CO<sub>2</sub> induites par l'utilisation de dolomie résultent du produit de ces deux paramètres.

Le facteur d'émission de CO<sub>2</sub> relatif à l'utilisation de dolomie est disponible dans la littérature [529]. La consommation de dolomie est déterminée à partir de ce facteur d'émission et des émissions calculées précédemment.

### **Emissions de Gaz fluorés**

#### SF<sub>6</sub>

La totalité du SF<sub>6</sub> utilisé pour la production de magnésium est supposée émise à l'atmosphère. Les émissions sont déterminées à partir des déclarations annuelles [19] et des données transmises par les exploitants [50]. Ces données sont confidentielles.

#### HFC

La totalité du HFC-134a utilisé pour la production de magnésium est supposée émise à l'atmosphère. Les émissions sont déterminées à partir des déclarations annuelles [19] et des données transmises par la fonderie employant cette substance [50]. Les émissions sont confidentielles car elles proviennent d'une seule fonderie.

Figure 14 : Logigramme du processus d'estimation de la consommation de dolomie pour la production de magnésium

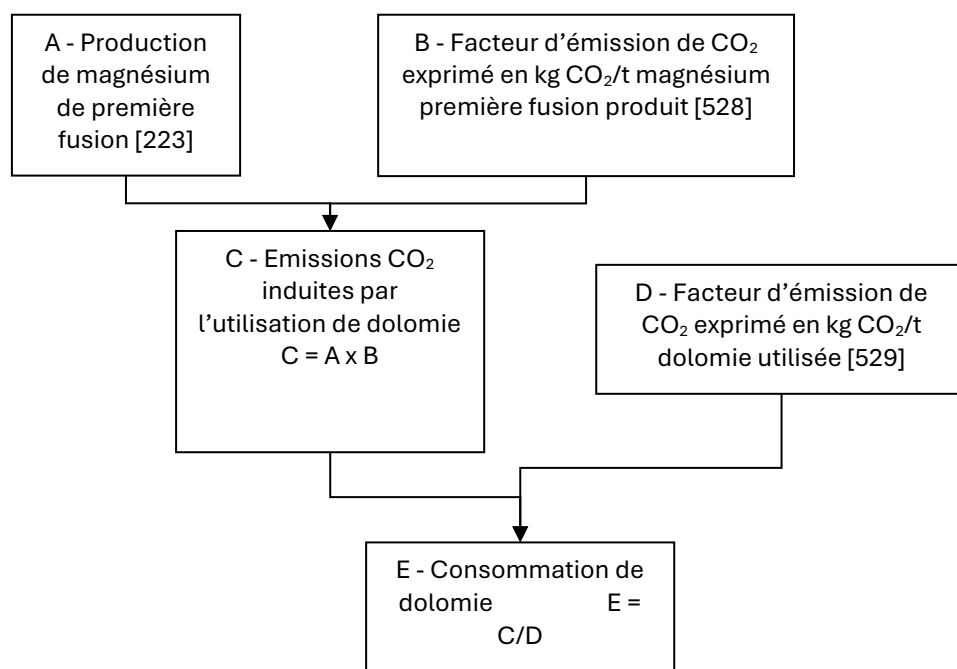
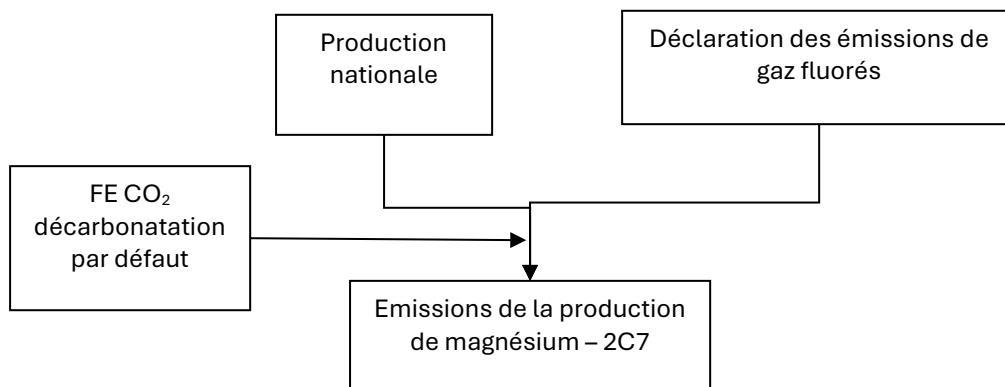


Figure 15 : Logigramme du processus d'estimation des émissions liées à la production de magnésium



Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
13/01/2025	VM	31/01/2025	JV

# Production de nickel

L'activité concernée dans cette section est la production de nickel hors procédé thermique.

## Correspondance dans divers référentiels :

CCNUCC / CRT	2C7
CEE-NU / NFR	2C7b
SNAPc (extension Citepa)	040305
CE / directive IED	2.5
CE / directive GIC	Hors champ

## Approche méthodologique :

Activité	Facteurs d'émission
Volumes de production	Valeurs nationales annuelles

## Niveau de méthode :

Rang 2.

## Références utilisées :

- [19] Base de données du registre des émissions polluantes (BDREP) – Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [49] TNO - Etude CEPMEIP relative aux émissions de particules, 2001
- [1227] Rapport annuel de l'institut d'émission d'outre-mer (IEOM) - Nouvelle-Calédonie
- [1314] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2023 - Part B section 2C7b Nickel production - Table 3.1

# Caractéristiques de la catégorie :

La production de nickel se fait à partir de deux types de minerais :

1/ les minerais contenant du nickel oxydé (formés par la modification chimique de roches de surface sous climat tropical). Les minerais contiennent 1,8% de nickel. Seuls les minerais latéritiques silicates (notamment la garniérite de Nouvelle-Calédonie, teneur moyenne 2,8%) ont été jusqu'ici exploités.

2/ les minerais contenant du nickel sulfuré (extrait en profondeur, alliés à des minerais annexes, teneur élevée).

Métropole

En France métropolitaine, il y a un seul site de production qui élabore du nickel de haute pureté. Le procédé est décrit ci-dessous :

### 1. Attaque de la matte

La matte est d'abord broyée finement, puis attaquée par une solution de chlorure ferrique en présence de chlore dans un ensemble de réacteurs. Le nickel, le cobalt et le fer sont transformés en chlorures, tandis que le soufre reste à l'état élémentaire.

La solution de chlorures de nickel, cobalt et fer est séparée du soufre et des résidus insolubles grâce à un filtre et subit alors des étapes successives d'extraction et de purification.

### 2. Extraction et purification

- Extraction du fer

L'extraction du fer est obtenue grâce à l'utilisation d'un solvant organique sélectif mis en contact avec la solution dans une batterie d'appareils mélangeurs-décanteurs fonctionnant à contre-courant.

- Extraction du cobalt

Pour extraire le cobalt de la solution de chlorures de nickel et de cobalt maintenant débarrassée du fer, le même principe que précédemment est appliqué dans une autre série de mélangeurs-décanteurs à l'aide d'un solvant différent. Une solution de chlorure de cobalt pure et une solution de nickel ne contenant plus de cobalt sont obtenues.

### 3. Electrolyse

La solution purifiée de chlorure de nickel est envoyée dans une série de cuves d'électrolyse. Celles-ci comportent des anodes insolubles régénérant le chlore ; le nickel métal se dépose à la cathode, sur des feuilles-mères en nickel.

Une cathode épaisse de nickel pur à très basse teneur en cobalt et avec des niveaux d'impuretés extrêmement faibles est obtenue.

Pour les besoins spécifiques de certaines industries (nucléaire, aérospatiale, etc.), les cathodes subissent un recuit éliminant totalement l'hydrogène.

### 4. Découpage des cathodes et conditionnement

Avant leur expédition, les cathodes de nickel sont découpées par cisailage pour obtenir des éléments, adaptés aux besoins des industries utilisatrices puis conditionnées.

## Outre-mer

Il existe depuis 2012 un site de production en Outre-Mer, l'usine de Prony Ressources New Caledonia (repreneur de Vale Inco à partir de 2021) en Nouvelle - Calédonie, qui produit de l'oxyde de nickel « NiO » à partir de minerai latéritique par lixiviation haute pression et température (procédé HPAL). Ses émissions sont estimées à partir de la production et de données locales confidentielles Les émissions de CO<sub>2</sub> sont rapportées dans la section 2C2\_ferro alloys.

Courant 2020, l'industriel a réorienté sa stratégie vers le marché des batteries automobiles et a arrêté la production de sa raffinerie en NiO.

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



La production métropolitaine est connue via la déclaration annuelle du site producteur [19]. Au cours du procédé, du nickel, des COVNM et des particules sont émis. La production de l’Outre-mer est connue via le rapport annuel IEOM de la Nouvelle Calédonie [1227].

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

Le facteur d’émission du SO<sub>2</sub> provient des lignes directrices EMEP/EEA de 2023 [1314] et s’élève à 18 kg/Mg de nickel produit.

### **Emissions de COVNM**

Le facteur d’émission des COVNM en métropole est calculé sur la base de la déclaration de rejets annuels [19]. Les données détaillées ne sont pas communiquées pour cause de confidentialité.

Les émissions du site situé en Nouvelle-Calédonie sont estimées à partir de sa production et de données locales confidentielles qui permettent de calculer un facteur d’émission spécifique.

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

De 1990 à 2002, les émissions de particules pour la métropole sont calculées sur la base d’un facteur d’émission moyen issu de la littérature [49]. A partir de 2003, les facteurs d’émission sont basés sur les déclarations annuelles de rejets [19].

Compte tenu du nombre limité de producteurs, les données détaillées sont confidentielles.

Les émissions du site situé en Nouvelle-Calédonie sont estimées à partir de sa production et de données locales confidentielles qui permettent de calculer un facteur d’émission fixe.

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

La granulométrie appliquée pour la métropole et l’outre-mer est issue de la même source que le facteur d’émission des TSP [49]. Faute de valeur disponible, le facteur d’émission pour les PM<sub>1,0</sub> est supposé identique à celui des PM<sub>2,5</sub>.

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

Les émissions de BC sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>. Ce ratio est estimé négligeable pour la production de nickel car non estimé dans le Guidebook EMEP/EEA [1314].

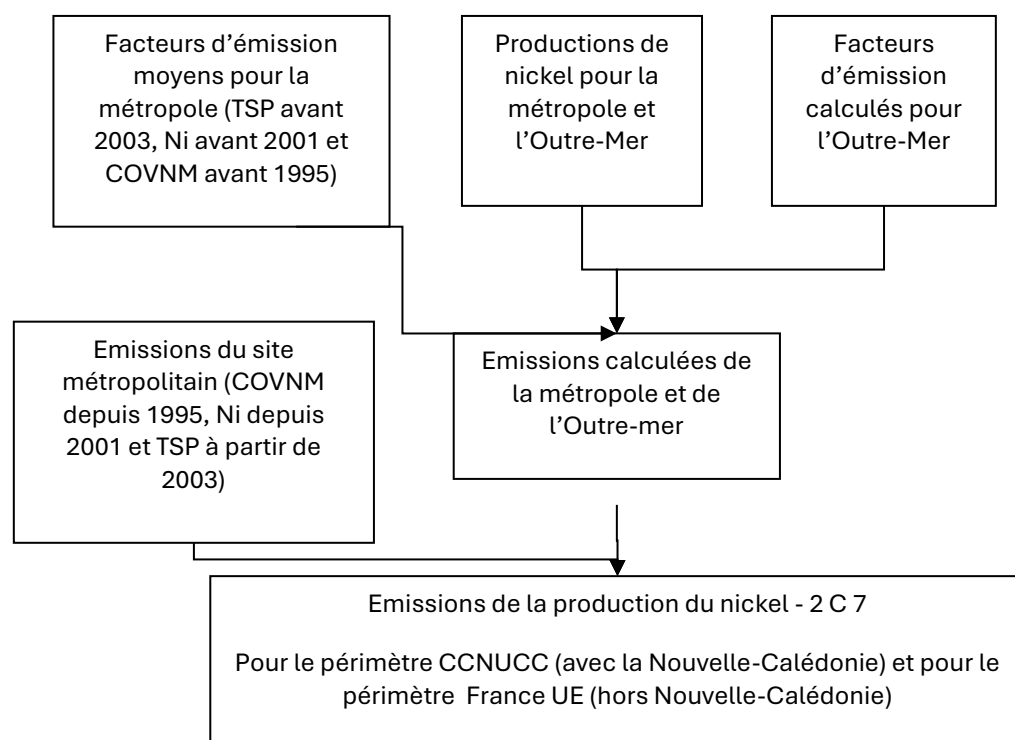
### **Métaux lourds (ML)**

La production de nickel émet du nickel. Depuis 2001, le facteur d’émission pour la métropole est calculé sur la base des émissions figurant dans les déclarations annuelles [19]. Pour les années antérieures à 2001, faute de données disponibles, le facteur d’émission par défaut proposé par le Guidebook EMEP/EEA [1314] est appliqué.

Compte tenu du nombre limité de sites, le détail des données est confidentiel.

Les émissions de nickel du site situé en Nouvelle-Calédonie sont estimées à partir de sa production et de données locales confidentielles qui permettent de calculer un facteur d’émission spécifique.

Figure 16 : Logigramme du processus d'estimation des émissions liées à la production de nickel



# Crédit des illustrations

Métallurgie | Introduction

@ Yassin HEMMATIZ / Unsplash

