

CHAPITRE 4

ÉMISSIONS DE L'INDUSTRIE DU MÉTAL

Auteurs

Section 4.1

Jerry Marks (États-Unis)

Section 4.2

Jonathan S. Lubetsky (États-Unis) et Bruce A. Steiner (États-Unis)

Section 4.3

Tor Faerden (Norvège), Jonathan S. Lubetsky (États-Unis), Tor Lindstad (Norvège), Sverre E. Olsen (Norvège), et Gabriella Tranell (Norvège)

Section 4.4

Jerry Marks (États-Unis), William Kojo Agyemang-Bonsu (Ghana), Mauricio Firmento Born (Brésil), Laurel Green (Australie), Halvor Kvande (Norvège), Kenneth Martchek (États-Unis), and Sally Rand (États-Unis)

Section 4.5

Gabriella Tranell (Norvège) et Tom Tripp (États-Unis)

Section 4.6

Jonathan S. Lubetsky (États-Unis) et Jerry Marks (États-Unis)

Section 4.7

Jonathan S. Lubetsky (États-Unis)

Contributeurs

Section 4.2

Robert Lanza (États-Unis)

Section 4.4

Vince Van Son (États-Unis), Pablo Alonso (France), Ron Knapp (Australie), Stéphane Gauthier (Canada), Michel Lalonde (Canada), Hézio Ávila de Oliveira (Brésil) et Chris Bayliss (GB)

Table des matières

4	Émissions de l'Industrie du métal	3.8
4.1	Introduction	3.8
4.2	Production Sidérurgique et de coke métallurgique	3.8
4.2.1	Introduction.....	3.11
4.2.2	Questions méthodologiques	3.17
4.2.2.1	Choix de la méthode : Production de coke métallurgique.....	3.17
4.2.2.2	Choix de la méthode : Production sidérurgique	3.19
4.2.2.3	Choix des facteurs d'émission.....	3.25
4.2.2.4	Choix des données sur les activités	3.30
4.2.2.5	Exhaustivité.....	3.30
4.2.2.6	Développement d'une série temporelle cohérente.....	3.32
4.2.3	Évaluation des incertitudes	3.32
4.2.4	Assurance qualité / contrôle qualité, établissement de rapports et documentation	3.33
4.2.4.1	Assurance qualité / contrôle qualité (AQ/CQ)	3.33
4.2.4.2	Établissement de rapports et documentation	3.34
4.3	Production de ferroalliages	3.34
4.3.1	Introduction.....	3.34
4.3.2	Questions méthodologiques	3.35
4.3.2.1	Choix de la méthode.....	3.35
4.3.2.2	Choix des facteurs d'émission.....	3.40
4.3.2.3	Choix des données sur les activités	3.42
4.3.2.4	Exhaustivité.....	3.43
4.3.2.5	Développement d'une série temporelle cohérente.....	3.43
4.3.3	Évaluation des incertitudes	3.43
4.3.3.1	Incertitudes des facteurs d'émission.....	3.43
4.3.3.2	Incertitudes des données sur les activités	3.43
4.3.4	Assurance qualité / contrôle qualité, établissement de rapports et documentation	3.44
4.3.4.1	Assurance qualité / contrôle qualité (AQ/CQ)	3.44
4.3.4.2	Établissement de rapports et documentation	3.45
4.4	Production primaire d'aluminium	3.46
4.4.1	Introduction.....	3.46
4.4.2	Questions méthodologiques	3.46
4.4.2.1	Choix de la méthode pour les émissions de CO ₂ de la production primaire d'aluminium	3.46
4.4.2.2	Choix des facteurs d'émission pour les émissions de CO ₂ de la production primaire d'aluminium	3.50
4.4.2.3	Choix de la méthode pour les PFC.....	3.52
4.4.2.4	Choix des facteurs d'émission pour les PFC.....	3.57

4.4.2.5	Choix des données sur les activités	3.58
4.4.2.6	Exhaustivité.....	3.58
4.4.2.7	Développement d'une série temporelle cohérente.....	3.58
4.4.3	Évaluation des incertitudes	3.59
4.4.3.1	Incertitudes des facteurs d'émission.....	3.59
4.4.3.2	Incertitudes des données sur les activités	3.60
4.4.4	Assurance qualité / contrôle qualité (AQ/CQ), établissement de rapports et documentation	3.60
4.4.4.1	Assurance qualité / contrôle qualité (AQ/CQ)	3.60
4.4.4.2	Établissement de rapports et documentation	3.61
4.5	production de magnésium	3.62
4.5.1	Introduction.....	3.62
4.5.2	Questions méthodologiques	3.64
4.5.2.1	Choix de la méthode.....	3.65
4.5.2.2	Choix des facteurs d'émission.....	3.69
4.5.2.3	Choix des données sur les activités	3.71
4.5.2.4	Exhaustivité.....	3.71
4.5.2.5	Développement d'une série temporelle cohérente.....	3.72
4.5.3	Évaluation des incertitudes	3.72
4.5.4	Assurance qualité / contrôle qualité (AQ/CQ), établissement de rapports et documentation	3.73
4.5.4.1	Assurance qualité / contrôle qualité (AQ/CQ)	3.73
4.5.4.2	Établissement de rapports et documentation	3.74
4.6	Production de plomb	3.76
4.6.1	Introduction.....	3.76
4.6.2	Questions méthodologiques	3.76
4.6.2.1	Choix de la méthode.....	3.76
4.6.2.2	Choix des facteurs d'émission.....	3.78
4.6.2.3	Choix des données sur les activités	3.80
4.6.2.4	Exhaustivité.....	3.80
4.6.2.5	Développement d'une série temporelle cohérente.....	3.80
4.6.3	Évaluation des incertitudes	3.81
4.6.3.1	Incertitudes des facteurs d'émission.....	3.81
4.6.3.2	Incertitudes des données sur l'activité.....	3.81
4.6.4	Assurance qualité / contrôle qualité (AQ/CQ), établissement de rapports et documentation	3.81
4.6.4.1	Assurance qualité / contrôle qualité (AQ/CQ)	3.81
4.6.4.2	Établissement de rapports et documentation	3.82
4.7	Production de zinc.....	3.83
4.7.1	Introduction.....	3.83
4.7.2	Questions méthodologiques	3.83
4.7.2.1	Choix de la méthode.....	3.83
4.7.2.2	Choix des facteurs d'émission.....	3.85
4.7.2.3	Choix des données sur les activités	3.85

4.7.2.4 Exhaustivité.....	3.87
4.7.2.5 Développement d'une série temporelle cohérente.....	3.87
4.7.3 Évaluation des incertitudes	3.87
4.7.3.1 Incertitudes des facteurs d'émission.....	3.87
4.7.3.2 Incertitudes des données sur l'activité.....	3.87
4.7.4 Assurance qualité / contrôle qualité (AQ/CQ), établissement de rapports et documentation	3.88
4.7.4.1 Assurance qualité / contrôle qualité (AQ/CQ)	3.88
4.7.4.2 Établissement de rapports et documentation	3.88
Références	3.91

Équations

Équation 4.1 Émissions de la production de coke (Niveau 1).....	3.17
Équation 4.2 Émissions de CO ₂ de la production de coke sur site (Niveau 2).....	3.18
Équation 4.3 Émissions de CO ₂ de la production de coke hors site (Niveau 2).....	3.18
Équation 4.4 Émissions de CO ₂ de la production sidérurgique (niveau 1).....	3.21
Équation 4.5 Émissions de CO ₂ de la production de font en gueuse non transformée en acier (niveau 1)	3.22
Équation 4.6 Émissions de CO ₂ de la production de fer poreux (niveau 1)	3.22
Équation 4.7 Émissions de CO ₂ de la production d'aggloméré (Niveau 1)	3.22
Équation 4.8 Émissions de CO ₂ de la production de boulettes (Niveau 1)	3.22
Équation 4.9 Émissions de CO ₂ de la production sidérurgique (niveau 2).....	3.23
Équation 4.10 Émissions de CO ₂ de la production d'aggloméré (Niveau 2)	3.23
Équation 4.11 Émissions de CO ₂ de la production de fer poreux (niveau 2)	3.24
Équation 4.12 Émissions de CH ₄ de la production d'aggloméré (Niveau 1)	3.25
Équation 4.13 Émissions de CH ₄ de haut fourneau de la production de fonte en gueuse (niveau 1)	3.25
Équation 4.14 Émissions de CH ₄ de la production de fer poreux (niveau 1)	3.25
Équation 4.15 Émissions de CO ₂ pour la production de ferroalliages par la méthode de niveau 1.....	3.35
Équation 4.16 Émissions de CO ₂ pour la production de ferroalliages par la méthode de niveau 2.....	3.36
Équation 4.17 Émissions de CO ₂ pour la production de ferroalliages par la méthode de niveau 3.....	3.37
Équation 4.18 Émissions de CH ₄ pour la production de ferroalliages par la méthode de niveau 1.....	3.39
Équation 4.19 Contenus carboniques d'agents réducteurs de ferroalliages.....	3.41
Équation 4.20 Émissions issues de procédés de CO ₂ de la consommation d'anodes et/ou de pâte (méthode de niveau 1).....	47
Équation 4.21 Émissions de CO ₂ de la consommation d'anodes précuites (méthodes de niveaux 2 et 3).....	48
Équation 4.22 Émissions de CO ₂ de la combustion de volatiles d'asphalte (méthodes de niveaux 2 et 3).....	48
Équation 4.23 Émissions de CO ₂ de matériau de garniture de four (méthodes de niveaux 2 et 3).....	49
Équation 4.24 Émissions de CO ₂ de la consommation de pâte (méthodes de niveaux 2 et 3)	49
Équation 4.25 Émissions de PFC (méthode de niveau 1).....	54
Équation 4.26 Émissions de PFC par la méthode de pente (méthodes de niveaux 2 et 3)	54
Équation 4.27 Émissions de PFC par la méthode de survoltage (méthodes de niveaux 2 et 3)	55
Équation 4.8 Émissions de CO ₂ de la production de magnésium primaire (Niveau 1)	65

Équation 4.29 Émissions de CO ₂ de la production de magnésium primaire (Niveau 2)	65
Équation 4.30 Émissions de SF ₆ du moulage de magnésium (Niveau 1).....	66
Équation 4.31 Émissions de SF ₆ du moulage de magnésium (Niveau 2).....	66
Équation 4.32 Émissions de CO ₂ de la production de plomb.....	77
Équation 4.33 Émissions de CO ₂ de la production de zinc (Niveau 1)	84
Équation 4.34 Émissions de CO ₂ de la production de zinc (Niveau 1)	84

Figures

Figure 4.1 Illustration des procédés principaux pour la production sidérurgique intégrée	3.10
Figure 4.2 Illustration de production de coke (émissions rapportées dans la catégorie 1A du secteur de l'énergie de procédé.....	3.13
Figure 4.3 Illustration du procédé de production d'aggloméré.....	3.14
Figure 4.4 Illustration du procédé de production de fonte en gueuse	3.15
Figure 4.5 Illustration des procédés de production sidérurgique	3.16
Figure 4.6 Estimation des émissions de CO ₂ de la production de coke métallurgique	3.19
Figure 4.7 Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de CO ₂ de la production de sidérurgique	3.20
Figure 4.8 Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de CH ₄ de la production de sidérurgique	3.21
Figure 4.9 Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de CO ₂ de la production de ferroalliages	3.38
Figure 4.10 Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de CH ₄ de la production de d'alliages de FeSi et de Si.....	3.39
Figure 4.11 Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de CO ₂ de la production primaire d'aluminium	3.47
Figure 4.12 Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de PFC de la production primaire	3.56
Figure 4.13 Diagramme décisionnel pour l'estimation des émissions de CO ₂ de la calcination de matières premières dans le procédé de production du magnésium primaire.....	3.67
Figure 4.14 Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de SF ₆ du traitement du magnésium	3.68
Figure 4.15 Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de CO ₂ de la production de plomb..	3.77
Figure 4.16 Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de CO ₂ de la production de zinc	3.86

Encadrés

Encadré 4.1 Définitions de mots/symboles utilisés dans des équations de cette section.....	3.36
Encadré 4.2 Description de l'effet anode	3.53

Tableaux

Tableau 4.1	Facteurs d'émission de CO ₂ par défaut pour la production de coke et la production sidérurgique	3.26
Tableau 4.2	Facteurs d'émission de CH ₄ par défaut pour la production de coke et la production sidérurgique	3.28
Tableau 4.3	Contenus carboniques de niveau 2 spécifiques aux matériaux pour les productions sidérurgique et de coke (kg c/kg).....	3.29
Tableau 4.4	Plages d'incertitude.....	3.32
Tableau 4.5	Facteurs d'émission de CO ₂ génériques pour la production de ferroalliages	3.40
Tableau 4.6	Facteurs d'émission de CO ₂ génériques pour la production de ferroalliages (tonnes de CO ₂ /tonne d'agent réducteur)	3.41
Tableau 4.7	Facteurs d'émission par défaut pour le CH ₄ (kg CH ₄ /tonne de produit).....	3.42
Tableau 4.8	Facteurs d'émission pour le CH ₄ (kg CH ₄ /tonne de produit).....	3.42
Tableau 4.9	Plages d'incertitude.....	3.44
Tableau 4.10	Facteurs d'émission de niveau 1 spécifiques aux technologies pour le calcul d'émissions de dioxyde de carbone de la consommation d'anodes ou de pâte.....	3.50
Tableau 4.11	Sources de données et incertitudes pour les paramètres utilisés dans une méthode de niveau 2 ou 3 pour les émissions de CO ₂ de cuves à anodes précuites (PCTC et PCTL), voir équation 4.21	3.50
Tableau 4.12	Sources de données et incertitudes pour les paramètres utilisés dans une méthode de niveau 2 ou 3 pour les émissions de CO ₂ de la combustion de volatiles d'asphalte (PCTC et PCTL), voir équation 4.22	3.51
Tableau 4.13	Sources de données et incertitudes pour les paramètres utilisés dans une méthode de niveau 2 ou 3 pour les émissions de CO ₂ de matériau de garniture de four à cuisson (PCTC et PCTL), voir équation 4.23	3.51
Tableau 4.14	Sources de données et incertitudes pour les paramètres utilisés dans une méthode de niveau 2 ou 3 pour les émissions de CO ₂ de cuves Sørderberg (SBH et SBV)	3.52
Tableau 4.15	Facteurs d'émission par défaut et plages d'incertitude pour le calcul d'émissions de PFC de la production d'aluminium par type de technologie de cuve (Méthode de niveau 1).....	3.57
Tableau 4.16	Coefficients de pente et de survoltage spécifiques aux technologies pour le calcul d'émissions de PFC de la production d'aluminium (méthode de niveau 2).....	3.57
Tableau 4.17	Bonnes pratiques dans le rapport d'informations pour calculer les émissions de CO ₂ et de PFC de la production d'aluminium par niveau.....	3.61
Tableau 4.18	Émissions de GES possibles liées à la production et au traitement du magnésium	3.63
Tableau 4.19	Facteurs d'émission pour la production de métal de Mg primaire spécifique aux minerais	3.69
Tableau 4.20	Facteurs d'émission de SF ₆ des procédés de moulage du magnésium (Niveau 1)	3.70
Tableau 4.21	Facteurs d'émission de CO ₂ génériques pour la production de plomb par source et type de four (tonnes de CO ₂ /tonne produit).....	3.79
Tableau 4.22	Contenus carboniques spécifiques aux matériaux pour la production de plomb (kg c/kg).....	3.79
Tableau 4.23	Plages d'incertitude.....	3.81
Tableau 4.24	Émissions de CO ₂ de la production de zinc de niveau 1	3.85
Tableau 4.25	Plages d'incertitude.....	3.87

4 ÉMISSIONS DE L'INDUSTRIE DU MÉTAL

4.1 INTRODUCTION

Les sections suivantes 4.2 à 4.7 donnent des directives pour estimer les émissions de gaz à effet de serre résultant de la production de métaux.

- La section 4.2 traite de la production des émissions de fer, d'acier et de coke métallurgique;
- La section 4.3 traite des émissions de production de ferroalliages;
- La section 4.4 traite des émissions de la production de plomb ;
- La section 4.5 traite des émissions de la production de magnésium ;
- La section 4.6 traite des émissions de la production de plomb ;
- La section 4.7 traite des émissions de la production de zinc.

Faire preuve de prudence afin d'éviter le double comptage des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) dans ce chapitre ainsi que dans le volume 2 sur le secteur de l'énergie, ou, en omettant les émissions de CO₂ puisque les émissions de CO₂ résultantes du rôle du carbone en tant que réactif et source de chaleur pour effectuer les réactions chimiques impliquées dans les procédés métallurgiques sont intimement liées, dans de nombreux cas. Si l'on venait à installer de la technologie de capture de CO₂ dans une usine de production de métaux, le CO₂ capturé devrait être déduit dans un calcul des émissions de plus haut niveau. Toute méthodologie tenant compte des captures de CO₂ devrait considérer que les émissions de CO₂ capturées durant le procédé peuvent être à la fois issues de la combustion et dépendantes du procédé. Dans les cas où la combustion et les émissions de procédés doivent être rapportées séparément, par exemple pour la production sidérurgique, les compilateurs d'inventaire doivent s'assurer que les mêmes quantités de CO₂ ne sont pas comptabilisées deux fois. Dans ces cas, la quantité totale de CO₂ capturé devrait préférablement être rapportée dans les catégories source de combustion d'énergie et de PIUP correspondantes, proportionnellement aux quantités de CO₂ générées dans ces catégories source. Le postulat par défaut est qu'il n'y a pas de capture ou de stockage de CO₂ (CSC) en cours. Pour des informations supplémentaires sur la capture et le stockage de CO₂, veuillez vous référer au volume 3, section 1.2.2 et pour plus de détails, au volume 2, section 2.3.4.

4.2 PRODUCTION SIDÉRURGIQUE ET DE COKE MÉTALLURGIQUE

La production sidérurgique conduit à des émissions de dioxyde de carbone (CO₂), de méthane (CH₄) et d'oxyde nitreux (N₂O). Ce chapitre propose des conseils pour l'estimation des émissions de CO₂ et de CH₄.¹

L'industrie sidérurgique consiste, de manière générale, en :

- Principales usines produisant aussi bien fer qu'acier ;
- Usines secondaires d'élaboration de l'acier;
- Sites de production de fer ; et
- Production hors site de coke métallurgique.

La figure 4.1 illustre les principaux processus de production sidérurgique : production de coke métallurgique, production d'aggloméré, production de boulettes, traitement du minerai de fer, fabrication du fer, élaboration de l'acier, moulage d'acier et très souvent combustion de gaz de hauts fourneaux et de gaz de cokeries pour d'autres fins. Les principaux processus peuvent avoir lieu dans ce qui est communément appelé une « usine intégrée » et qui inclut typiquement des hauts fourneaux et des convertisseurs à oxygène de l'élaboration d'acier, ou dans certains cas des fours Martin. Il est également courant qu'une partie de la production se fasse hors site sous la responsabilité d'un autre opérateur telle qu'une installation hors site de production de coke.

Dans certains pays, il y aura des usines de production de coke qui ne seront pas intégrées à la production sidérurgique (c'est-à-dire des installations hors site). Ce chapitre propose des orientations générales pour l'estimation des émissions de CO₂ et de CH₄ à partir de toute production de coke pour assurer consistance et exhaustivité. Les pays devraient estimer séparément les émissions de production de coke sur le site et hors site par les niveaux supérieurs puisque les dérivés de la production de coke sur le site (par exemple gaz de cokeries, poussier de cokes, etc.) sont souvent utilisés pendant la production sidérurgique.

Production d'acier primaire et secondaire :

La production d'acier peut avoir lieu dans des "usines intégrées" à partir de minerai de fer ou dans des usines secondaires, qui produisent l'acier principalement à partir de bocages d'acier recyclés. Les usines intégrées incluent typiquement de la production de coke, des hauts fourneaux et des convertisseurs à l'oxygène de l'élaboration d'acier, ou dans certains cas des fours Martins. L'acier brut est produit en utilisant un convertisseur à l'oxygène à partir de fonte en gueuse produite par le haut-fourneau et ensuite traitée en produits d'acier finis. La fonte en gueuse peut aussi être traitée directement en produits en fer. L'élaboration d'acier secondaire se réalise la plupart du temps dans des fours électriques à arc. En 2003, les convertisseurs à oxygène d'élaboration d'acier représentaient environ 63 % de la production mondiale d'acier et les fours électriques environ 33 %; la production des fours Martins représentait quant à elle 4 % mais est aujourd'hui en déclin.

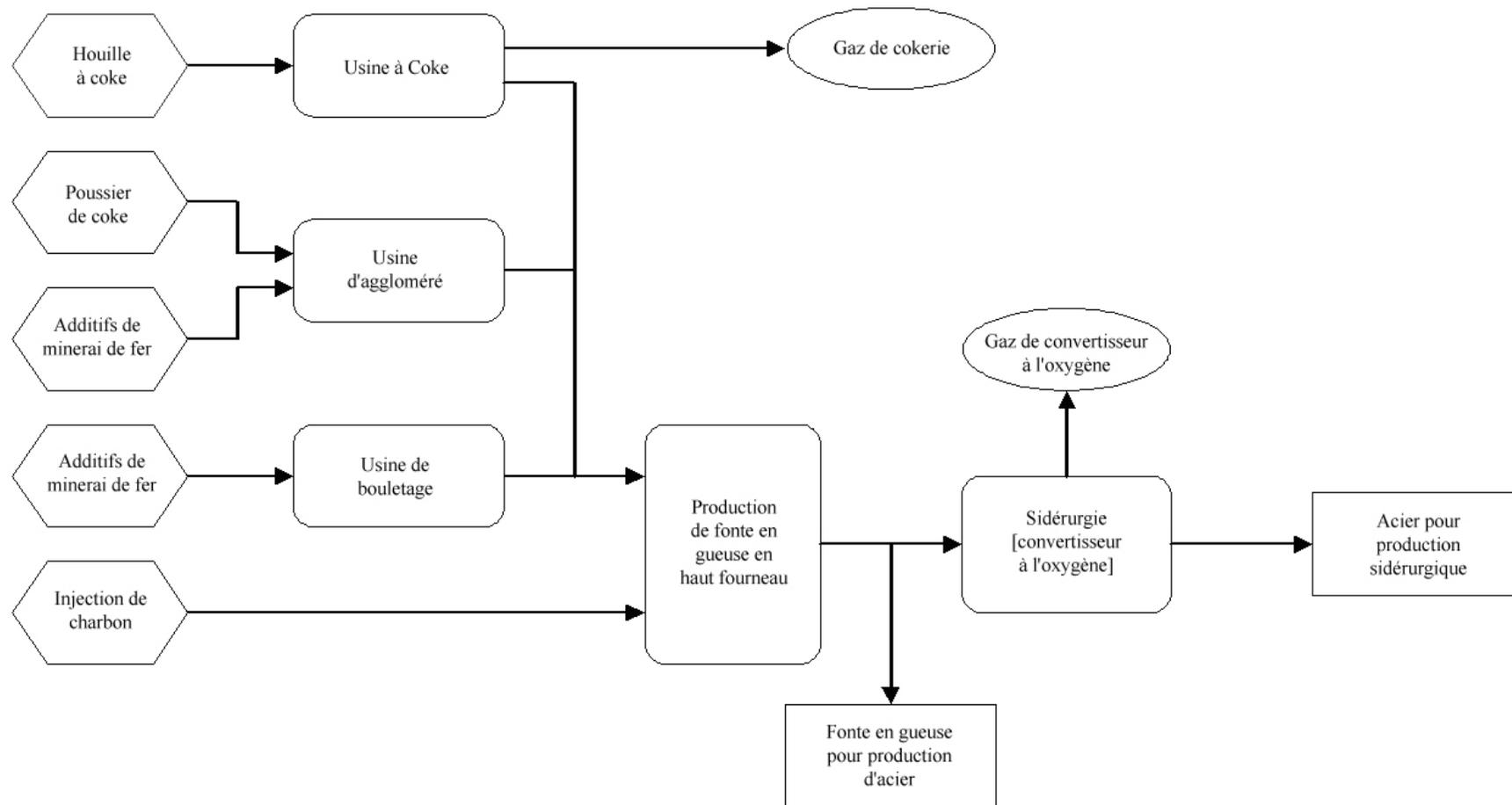
Production de fer :

La production de fer peut être réalisée sur le site dans des usines intégrées ou dans des usines séparées hors site contenant des hauts-fourneaux et des convertisseurs à l'oxygène. En plus de la production de fer par hauts-fourneaux, le fer peut être produit par un processus de réduction directe. La réduction directe inclut la réduction de minerai de fer en fer métallique à l'état solide à des températures de traitement de moins de 1000°C.

Production de coke métallurgique :

La production de coke métallurgique est considérée comme étant une utilisation énergétique de combustibles fossiles ; et à ce titre, les émissions devraient être répertoriées sous la catégorie 1A du secteur de l'énergie. Les méthodologies sont cependant présentées dans le volume 3 ici, puisque les données sur les activités utilisées pour estimer les émissions énergétiques et non énergétiques dans la production sidérurgique intégrée ont des superpositions importantes. Tout combustible consommé dans cette catégorie source non attribué à des entrées des usines d'aggloméré, des usines de boulettes et des hauts-fourneaux pourrait être considéré comme combustion de combustibles, qui est traitée dans le secteur de l'énergie (cf volume 2 : Énergie).

Figure 4.1 Illustration des procédés principaux pour la production sidérurgique intégrée*



Modifié à partir de : Conférence Européenne sur "Le Processus de Séville : un moteur pour la performance environnementale dans l'industrie" Stuttgart, 6 et 7 avril 2000, BREF sur la production sidérurgique - conclusions sur les MTD, Dr. Harald Schoenberger, Bureau d'Etat Régional Gouvernemental, Freiburg, avril 2000. (Schoenberger, 2000)

4.2.1 Introduction

PRODUCTION DE COKE MÉTALLURGIQUE

Le coke métallurgique est principalement utilisé dans le haut fourneau pour fabriquer du fer. Le coke est aussi utilisé dans d'autres procédés métallurgiques, tels que la fabrication de fonte, de ferroalliages, de plomb et de zinc, ainsi que dans des séchoirs pour fabriquer de la chaux et du magnésium. Le coke métallurgique est le produit solide obtenu de la carbonisation du charbon, principalement de la houille à coke, à haute température. Il est faible en humidité et en matière volatile. La houille à coke désigne le charbon bitumeux d'une qualité permettant la production d'un coke convenable pour supporter la charge d'un haut fourneau. Sa valeur calorifique brute est au-delà de 23 865 kJ/kg (5 700 kcal/kg) sur une base humide mais dénuée de cendres. Le gaz de cokeries est un produit dérivé de la fabrication de coke métallurgique lors de la production sidérurgique. La figure 4.2 illustre le procédé de production de coke et associe les sources de CH₄ et les émissions de CO₂.

À noter que le gaz de cokeries peut être brûlé pour chauffer les fours à coke ou transféré sur le site, intégré dans une usine de fer ou d'acier et utilisé dans des procédés de production d'aggloméré. Le gaz de cokeries peut aussi être transféré hors site (par exemple, dans le système de distribution de gaz naturel) et utilisé comme source d'énergie. La combustion de coke dans des hauts fourneaux pendant le procédé de fabrication sidérurgique produit du gaz de haut fourneaux, qui peut ensuite être récupéré et transféré du broyeur sidérurgique à l'usine de coke sur site puis brûlé pour chauffer des fours à coke, ou utilisé dans la production d'aggloméré. La combustion des gaz de haut fourneau et de cokerie est la source principale d'émissions de CO₂ et de CH₄ dans la production de coke.

PRODUCTION D'AGGLOMÉRÉ

Le minerai de fer et d'autres matériaux contenant du fer peuvent être agglomérés dans des usines d'aggloméré, dans des usines intégrées sidérurgiques avant l'introduction dans le haut fourneau. Les intermédiaires d'usines d'aggloméré peuvent comprendre des minerais fins de fers, des additifs (par ex. chaux, olivine), ainsi que des matériaux contenant du fer recyclé de procédés de production sidérurgique en aval (par ex. poussière du nettoyage de hauts fourneaux). Le poussier de coke (coke de four à coke de petite catégorie, particules de tailles de < 5mm) est le matériau de procédé le plus couramment utilisé dans les usines d'aggloméré. Le poussier de coke peut être produit des fours à coke sur le site d'usines intégrées sidérurgiques ou acheté à des producteurs de coke hors site. Le gaz de haut fourneau ou le four à coke produit sur site pendant la production intégrée sidérurgique peut être utilisé dans les usines d'aggloméré. L'opération d'usines d'aggloméré produit des émissions de dioxyde de carbone par oxydation du poussier de coke et d'autres entrées. Le dégagement gazeux de la production d'aggloméré contient aussi du méthane et d'autres hydrocarbures. La figure 4.3 illustre le procédé de production d'aggloméré.

PRODUCTION DE BOULETTES

Les boulettes sont formées à partir de matériaux contenant du fer (par ex. minerai fin et additifs) en sphères de 9-16 mm durant un procédé à très haute température. Le procédé inclut broyage, séchage, bouletage et traitement thermique des matières premières. Les usines de bouletage sont principalement situées à des mines de fer ou à des ports d'envoi, mais peuvent aussi se trouver sur site comme faisant partie d'une usine sidérurgique. Le gaz naturel ou le charbon peuvent être utilisés comme combustibles pour des usines de bouletage ; pour des usines de bouletage situées sur le site d'usines intégrées sidérurgiques, du gaz de four à coke peut être utilisé comme combustible. La consommation d'énergie pour le procédé et les émissions de CO₂ y étant associées dépendront en partie de la qualité du minerai de fer et d'autres matières premières utilisées dans le procédé. Les émissions de CO₂ dépendront aussi des contenus en carbone et des valeurs de chauffage des carburants employés dans le procédé.

FABRICATION DE FER ET RÔLE DU COKE

La plupart du CO₂ émis par l'industrie sidérurgique est associée à la production de fer, plus spécifiquement l'utilisation du carbone pour convertir le minerai de fer en fer. La figure 4.4 décrit le procédé de fabrication du fer et les sources d'émissions qui y sont associées. Le carbone est fourni au haut fourneau principalement sous forme de coke produit à partir de houille à coke de grade métallurgique (mais peut aussi être sous forme de charbon de bois ou d'autres formes de charbon). Le carbone a une double utilité dans le procédé de fabrication du fer, principalement en guise d'agent réducteur convertissant les oxydes de fer en fer, mais aussi comme source d'énergie fournissant de la chaleur quand le carbone et l'oxygène réagissent exothermiquement. Du gaz de haut fourneau est produit lors de la combustion de coke dans des hauts fourneaux. Il est typiquement récupéré et utilisé comme carburant, en partie au sein de l'usine et en partie dans d'autres procédés de l'industrie de l'acier, ou dans des centrales électriques équipées pour le brûler. Le gaz de haut fourneau peut aussi être récupéré et transféré du broyeur à fer et à acier à l'usine de coke sur le site et brûlé pour en tirer de l'énergie dans

les fours à coke. Le gaz de haut fourneau peut aussi être transféré hors site et utilisé comme source d'énergie à la fois dans le four et lorsque le gaz de fourneau est brûlé pour chauffer l'air soufflé. L'oxygène gazeux de fourneau à acier est obtenu comme produit dérivé de la production d'acier dans un convertisseur à oxygène (CAO) et est récupéré à la sortie du fourneau. Tout le carbone utilisé dans les hauts fourneaux devrait être considéré comme émission de PIUP reliée au procédé.

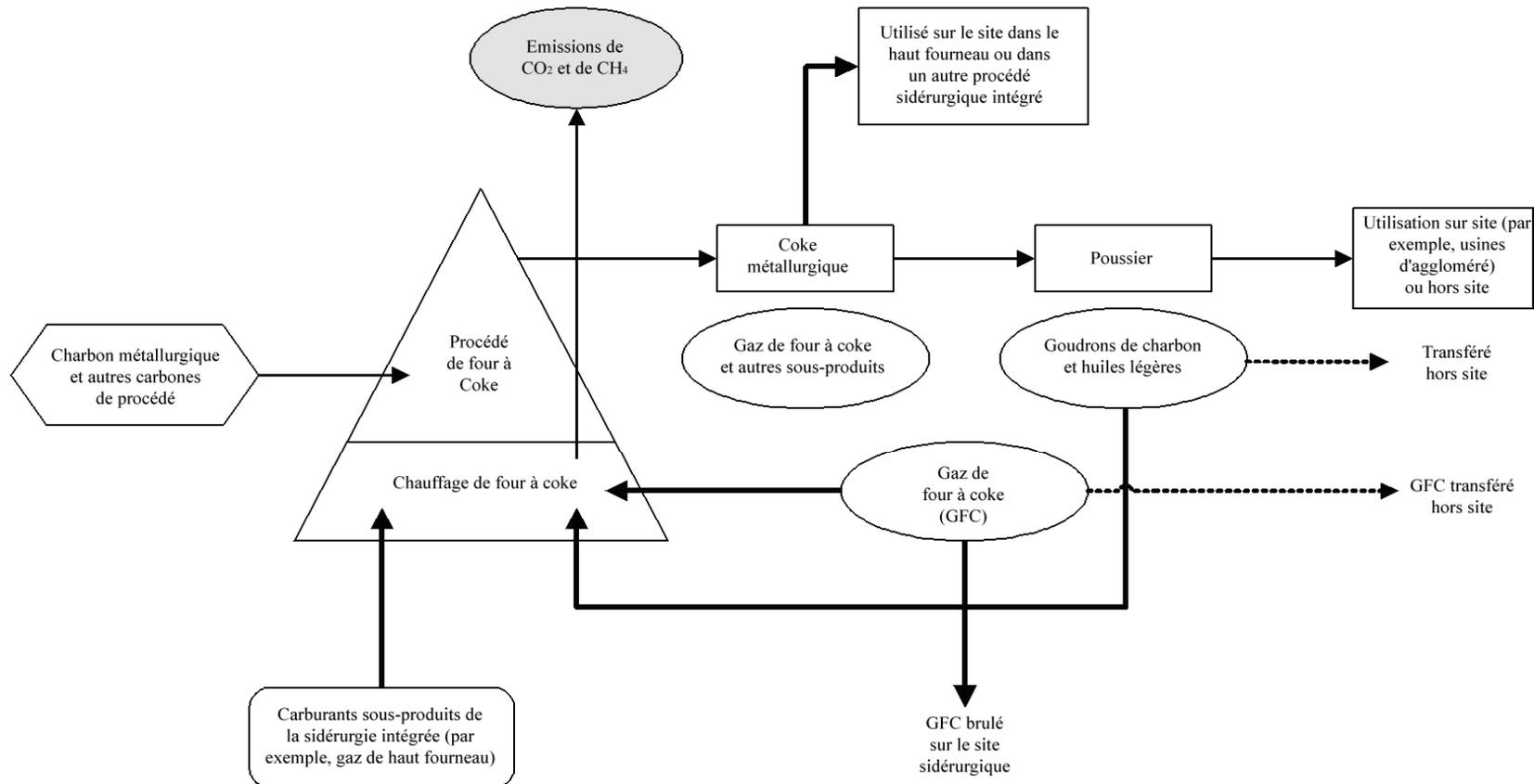
De plus, le fer peut être produit par un procédé de réduction directe. La réduction directe implique la réduction de minerai de fer en fer métallique à l'état solide, à des températures de procédé inférieures à 1 000°C. Un produit solide désigné comme fer poreux est fabriqué par le procédé de réduction directe. Le fer poreux à un contenu carbonique de < 2%. Le fer poreux est normalement utilisé comme substitut pour la ferraille dans la voie de fabrication d'acier de l'arc électrique, mais peut aussi être utilisé comme intermédiaire dans la fabrication de fer en haut fourneau. Le fer poreux peut aussi être fondu en briquettes, désigné comme fer briqueté à chaud, lorsque le produit doit être stocké ou transporté. Les préparateurs d'inventaire peuvent estimer les émissions de CO₂ de ces procédés issus de la consommation d'énergie et du contenu carbonique du carburant (par ex. gaz naturel, charbon).

FABRICATION D'ACIER

La production d'acier dans un CAO commence par le chargement du convertisseur avec 70-90 % de fer fondu et 10-30 % de ferraille d'acier. L'oxygène hautement pur se combine ensuite au carbone du fer pour créer une réaction exothermique qui fait fondre la charge en abaissant le contenu carbonique. Le fer du haut fourneau contient habituellement 3-4 % de carbone, qui doivent être réduits à moins de 1, raffinés et alliés afin de produire le grade d'acier désiré.

La production d'acier dans un four électrique à arc a lieu en chargeant 100 % de ferraille d'acier qui est fondue en utilisant de l'énergie électrique impartie à la charge via des électrodes de carbone, puis en la raffinant et en l'alliant afin de produire le grade d'acier désiré. Bien que les fours électriques à arc se trouvent dans les usines intégrées, ce sont typiquement des opérations indépendantes dues à leur dépendance à la ferraille et non au fer comme matière première. Puisque le four électrique à arc est principalement un four à fondre de la ferraille au lieu de réduire des oxydes, le rôle du carbone n'est pas aussi dominant que dans les procédés de haut fourneau/CAO. Dans la majorité des fours électriques à arc chargés à la ferraille, les émissions de CO₂ sont principalement associées à la consommation des électrodes de carbone. Tout le carbone utilisé dans les fours électrique à arc devrait être considéré comme émission de PIUP reliée au procédé. La figure 4.5 illustre le procédé de fabrication de l'acier et les sources d'émissions associées.

Figure 4.2 Illustration de production de coke (émissions rapportées dans la catégorie 1A du secteur de l'énergie de procédé)



Note :

Les lignes en gras ne s'appliquent qu'à la production de coke sur site dans les usines sidérurgiques intégrées et les lignes pointillées s'appliquent au transfert de matériaux pour des "procédés hors site".

Les "procédés hors site" ne comprennent pas les procédés de production sidérurgique intégrés qui sont catégorisés comme "sur site".

Figure 4.3 Illustration du procédé de production d'aggloméré

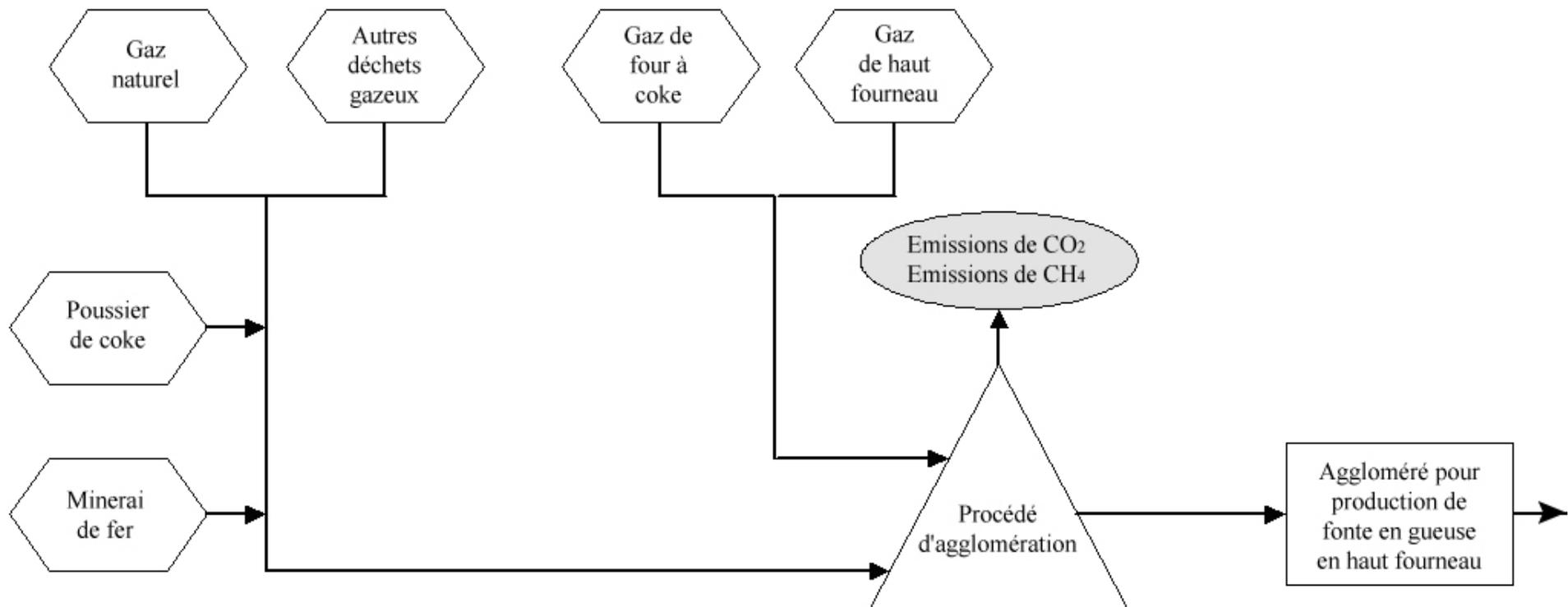


Figure 4.4 Illustration du procédé de production de fonte en gueuse

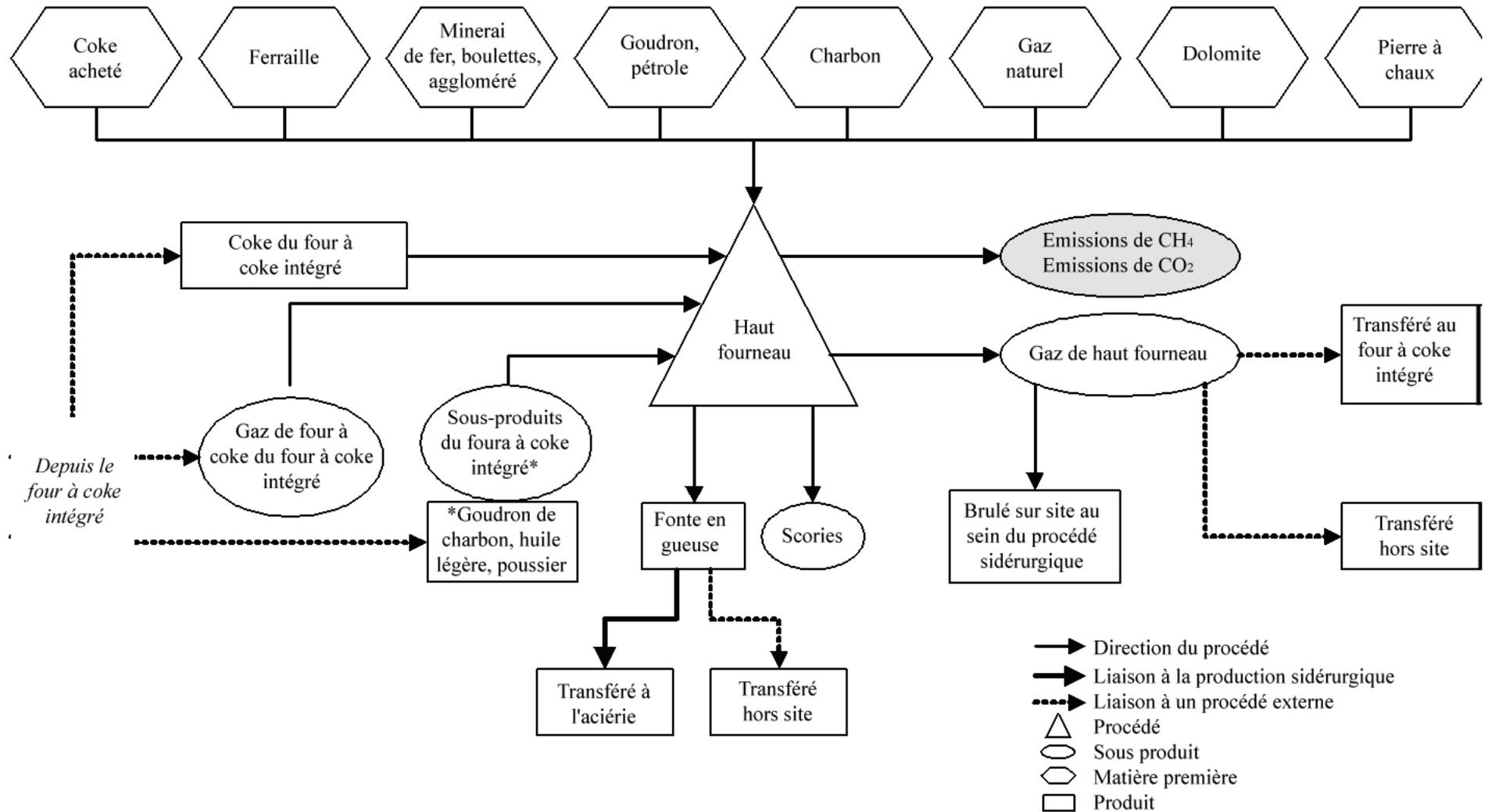
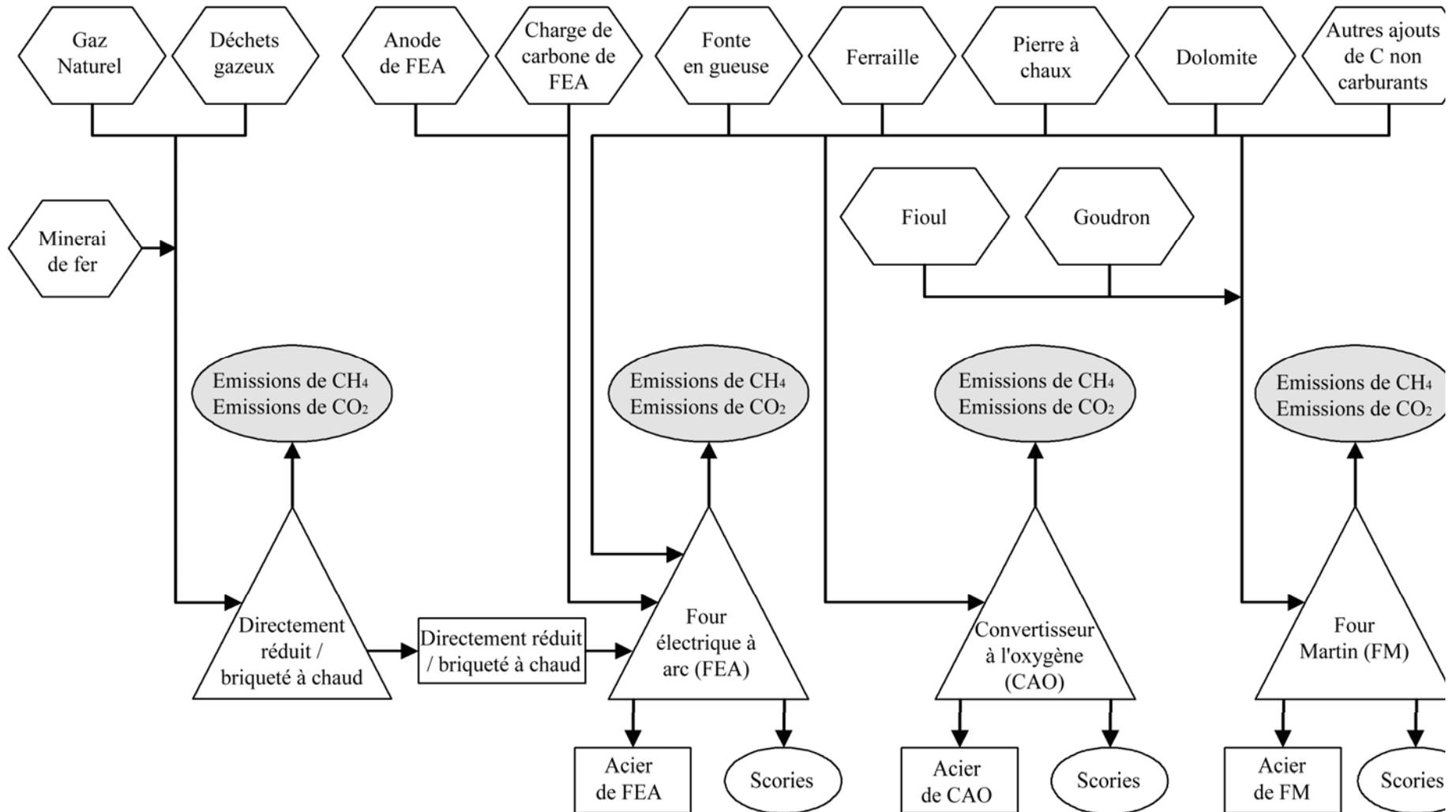


Figure 4.5 Illustration des procédés de production sidérurgique



4.2.2 Questions méthodologiques

4.2.2.1 CHOIX DE LA MÉTHODE : PRODUCTION DE COKE METALLURGIQUE :

Les *Directives GIEC* décrivent trois niveaux de calcul des émissions de CO₂ et deux niveaux pour le calcul des émissions de CH₄ de la production de coke. Le choix d'une méthode de *bonne pratique* pour l'estimation des émissions de CO₂ dépend des circonstances nationales tel qu'il est montré dans le diagramme décisionnel dans la figure 4.6 : « Estimation des émissions de CO₂ de la production de coke métallurgique ». Pour les émissions de CH₄, veuillez utiliser le diagramme décisionnel de la figure 4.8.

Le coke métallurgique est produit soit à l'usine sidérurgique (« sur site ») ou dans d'autres usines (« hors site »). La méthode de niveau 1 calcule les émissions de toute la production de coke en utilisant des facteurs d'émission par défaut appliqués à la production nationale de coke.

La méthode de niveau 2 pour estimer les émissions de CO₂ distingue entre la production sur site et hors site. Elle utilise des données sur les activités au niveau national pour la consommation et la production de matériaux de procédé (par ex. charbon de coke consommé, coke produit et production de composés de bitume de charbon). Comme discuté plus haut, la méthode de niveau 2 n'est pas applicable pour l'estimation d'émissions de CH₄. La méthode de niveau 3 requiert des données sur les émissions de CO₂ et de CH₄ spécifiques aux usines, ou des données sur les activités spécifiques aux usines.

MÉTHODE DE NIVEAU 1 – FACTEURS D'ÉMISSION BASÉS SUR LA PRODUCTION

L'équation 4.1 calcule les émissions de l'ensemble de la production de coke. La méthode de niveau 1 suppose que tout le coke fabriqué sur site dans des usines sidérurgiques est utilisé sur site. La méthode de niveau 1 consiste à multiplier les facteurs d'émission par défaut par les tonnes de coke produites. Les émissions devraient être rapportées dans le secteur de l'énergie.

<p>ÉQUATION 4.1 ÉMISSIONS DE LA PRODUCTION DE COKE (NIVEAU 1)</p> $E_{CO_2} = Coke \cdot EF_{CO_2} \text{ et } E_{CH_4} = Coke \cdot FE_{CH_4} \quad (\text{À rapporter dans le secteur de l'énergie})$
--

Où :

E_{CO_2} ou E_{CH_4} = émissions de CO₂ ou de CH₄ de la production de coke, tonnes de CO₂ ou de CH₄

Coke = quantité de coke produite nationalement, tonnes

FE = facteur d'émission, tonnes de CO₂/tonne de production de coke ou CH₄/tonne de production de coke

Note : La méthode de niveau 1 suppose que tous les produits dérivés du four à coke sont transférés hors site et que tout le gaz de cokerie produit est brûlé sur site pour récupérer de l'énergie.

MÉTHODE DE NIVEAU 2

Il convient d'utiliser la méthode de niveau 2 si des statistiques nationales sur les entrées et sorties de procédés de production de coke (intégrés et non intégrés) sont disponibles. Le niveau 2 produira une estimation plus exacte que le niveau 1 parce qu'il prend en compte la quantité réelle d'entrées et de sorties plutôt que de faire des suppositions.

Comme exprimé dans les équations 4.2 et 4.3, le niveau 2 estime les émissions de la production de coke sur site séparément de celle hors site. Cette séparation est due au chevauchement des besoins de données lors de l'estimation d'émissions de la production de coke sur site et d'émissions de la production sidérurgique.

ÉQUATION 4.2

ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION DE COKE SUR SITE (NIVEAU 2)

$$E_{CO_2, \text{énergie}} = \left[CC \cdot C_{CC} + \sum_a (PM_a \cdot C_a) + BG \cdot C_{BG} - CO \cdot C_{CO} - COG \cdot C_{COG} - \sum_b (COB_b \cdot C_b) \right] \cdot \frac{44}{12}$$

Où :

$E_{CO_2, \text{énergie}}$ = émissions de CO₂ de la production de coke sur site à rapporter dans le secteur de l'énergie, tonnes

CC = quantité de houille à coke consommée pour la production de coke dans des usines intégrées de production sidérurgique, tonnes

PM_a = quantité d'autres matériaux du procédé *a*, autres que ceux listés comme termes séparés, tels que le gaz naturel et le pétrole, consommés pour la production de coke et d'aggloméré dans la production sur site de coke et les usines de production sidérurgique, tonnes

BG = quantité de gaz de haut fourneau consommée dans les fours à coke, m³ (ou autre unité telle que tonnes ou GJ. La conversion de l'unité devrait être la même que dans le volume 2 : Énergie)

CO = quantité de coke produite sur site dans des usines de production sidérurgique, tonnes

COG = quantité de gaz de four à coke transférée hors site, m³ (ou autre unité telle que tonnes ou GJ. La conversion de l'unité devrait être la même que dans le volume 2 : « Énergie »)

COB_b = quantité de sous produit de four à coke *b*, transféré hors site ou à d'autres usines, tonnes

C_x = contenu en carbone d'entrée ou de sortie du matériau *x*, tonnes de C/(unité pour matériau *x*) [par ex. tonnes C/tonne]

Pour la production hors site de coke, le compilateur d'inventaire devrait utiliser l'équation 4.3. Les émissions totales sont la somme des émissions de toutes les usines en utilisant à la fois les équations 4.2 et 4.3.

ÉQUATION 4.3

ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION DE COKE HORS SITE (NIVEAU 2)

$$E_{CO_2, \text{énergie}} = \left[CC \cdot C_{CC} + \sum_a (PM_a \cdot C_a) - NIC \cdot C_{NIC} - COG \cdot C_{COG} - \sum_b (COB_b \cdot C_b) \right] \cdot \frac{44}{12}$$

Où :

$E_{CO_2, \text{énergie}}$ = émissions de CO₂ de la production de coke hors site à rapporter dans le secteur de l'énergie, tonnes

CC = quantité de houille à coke utilisée dans des usines de production de coke non intégrées, tonnes

PM_a = quantité d'un autre matériau *a* du procédé, autre que la houille de coke, tel que le gaz naturel et le pétrole, consommé nationalement dans des productions non intégrées de coke, tonnes

NIC = quantité de coke produite nationalement dans des usines de production de coke non intégrées, tonnes

COG = quantité de gaz de four à coke produite nationalement dans des usines de production de coke non intégrées qui est transférée à d'autres usines, m³ (ou autre unité telle que tonnes ou GJ. La conversion de l'unité devrait être la même que dans le volume 2 : « Énergie »)

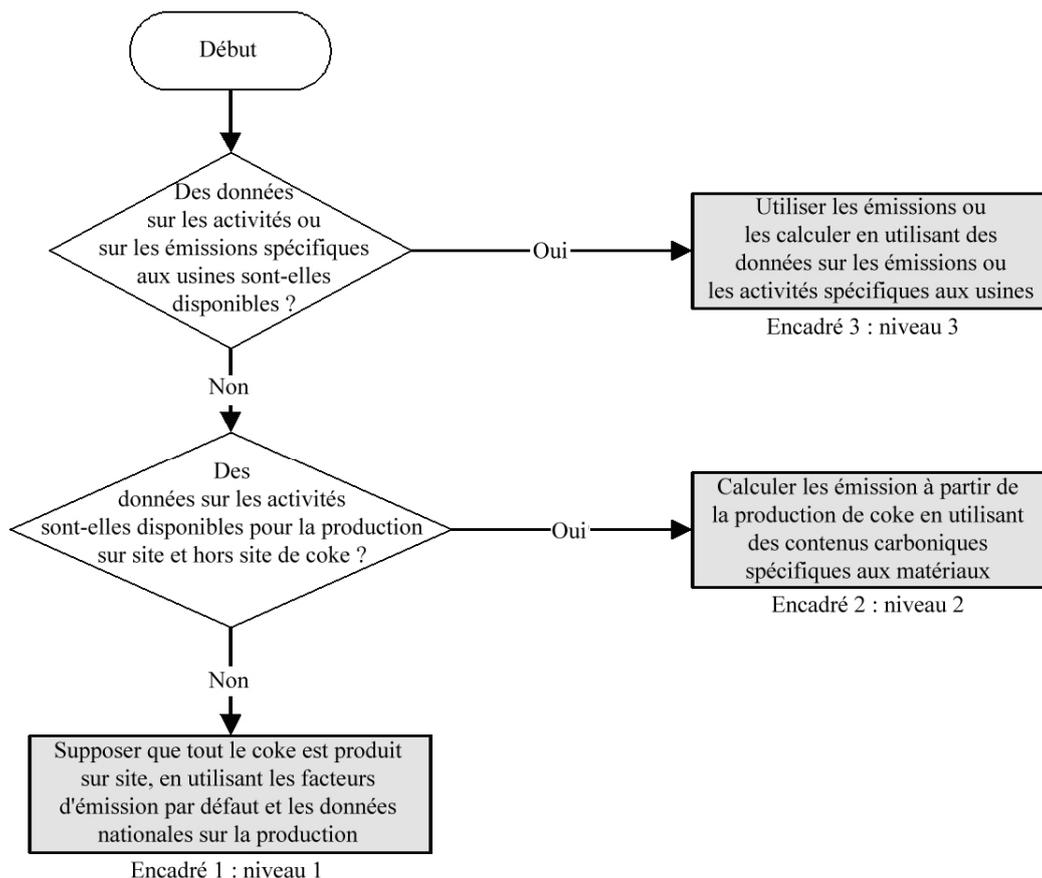
COB_b = quantité de sous produit de four à coke *b* produite nationalement en dehors d'usines non intégrées puis transférée à d'autres usines, tonnes

C_x = contenu en carbone d'entrée ou de sortie du matériau *x*, tonnes de C/(unité pour matériau *x*) [par ex. tonnes C/tonne]

MÉTHODE DE NIVEAU 3

À la différence de la méthode de niveau 2, la méthode de niveau 3 utilise des données spécifiques aux usines parce que les usines peuvent varier considérablement au niveau de leur technologie et de leurs conditions de procédé. Si des données de mesure d'émissions de CO₂/CH₄ sont disponibles auprès d'usines de production de coke sur site et hors site, elles peuvent être agrégées et utilisées directement pour comptabiliser des émissions de la production de coke métallurgique en utilisant la méthode de niveau 3. Les émissions nationales totales seront égales à la somme des émissions rapportées par chaque usine. Si des données sur les émissions de CO₂ spécifiques aux usines ne sont pas disponibles, les émissions de CO₂ peuvent être calculées à partir de données sur les activités spécifiques aux usines en appliquant la méthode de niveau 2, équations 4.2 et 4.3. Les émissions nationales totales seront égales à la somme des émissions rapportées par chaque usine.

Figure 4.6 Estimation des émissions de CO₂ de la production de coke métallurgique

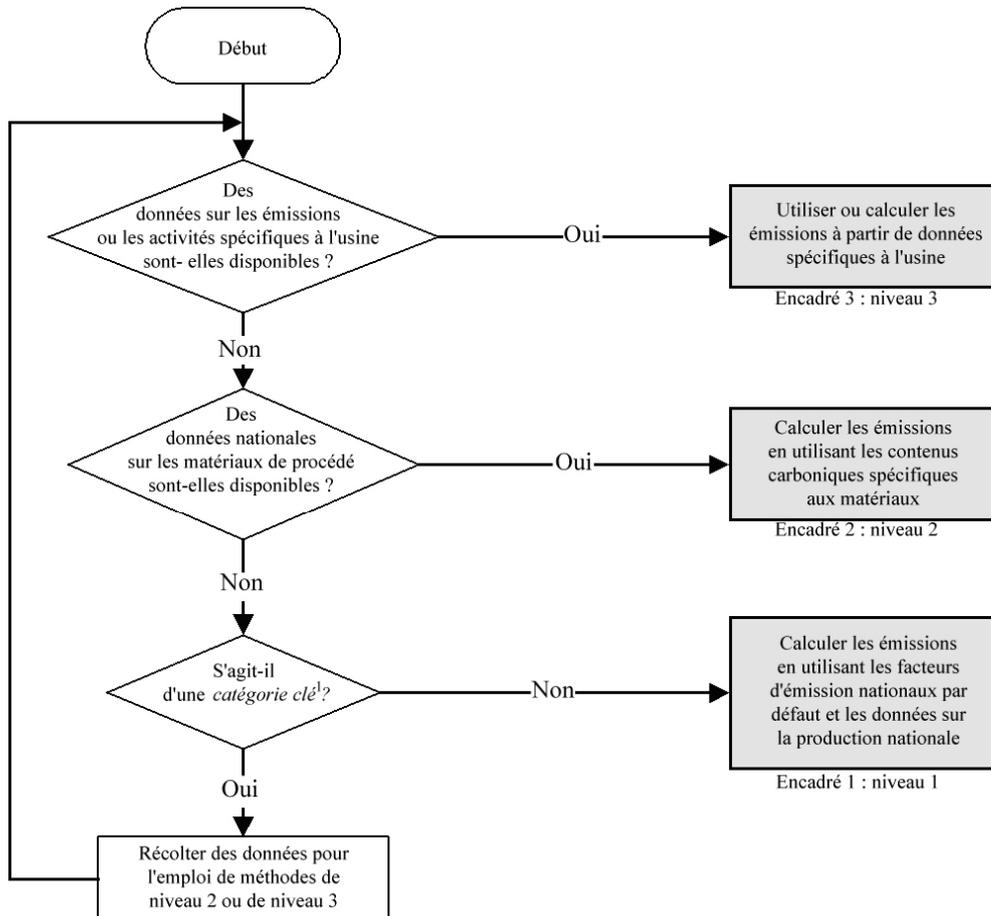


4.2.2.2 CHOIX DE LA MÉTHODE : PRODUCTION SIDÉRURGIQUE

Ces *Lignes directrices* décrivent trois niveaux de calcul des émissions de CO₂ et deux niveaux pour le calcul des émissions de CH₄ de la production sidérurgique. Le choix d'une *bonne pratique* dépend des circonstances nationales tel qu'il est montré dans le diagramme décisionnel de la figure 4.7 pour les émissions de CO₂ et la figure 4.8 pour les émissions de CH₄ : « Arbre décisionnel pour l'estimation des émissions de CO₂ de la production sidérurgique » et « Arbre décisionnel pour l'estimation des émissions de CH₄ de la production sidérurgique ». La méthode de niveau 1 se base sur des données sur la production au niveau des usines et des facteurs d'émission par défaut. Elle peut mener à des erreurs dues à sa dépendance sur des suppositions plutôt que sur des données réelles pour la quantité d'entrées dans le secteur de la production d'aggloméré et de la production sidérurgique contribuant aux émissions de CO₂. De ce fait, le niveau 1 convient seulement si la production sidérurgique n'est pas une *catégorie clé*. Les facteurs d'émission par défaut sont fournis pour la production d'aggloméré, la fabrication de fer en haut fourneau, la production de fer poreux, de boulettes et pour chaque méthode de fabrication d'acier. Les sources primaires d'émissions sont la production de fer en haut

fourneau et la fabrication d'acier. La méthode de niveau 2 pour l'estimation des émissions de CO₂ de la production sidérurgique se base sur des données sur la consommation connue de matières premières, y compris des agents réducteurs, ainsi que sur des données sur l'ensemble de l'industrie. Elle emploie une approche de bilan massique et des contenus en carbone spécifiques aux matériaux. La méthode de niveau 2 n'est pas applicable pour l'estimation d'émissions de CH₄. La méthode de niveau 3 nécessite des émissions spécifiques aux usines ou des données sur les activités agrégées au niveau national pour l'estimation des émissions de CO₂ et de CH₄.

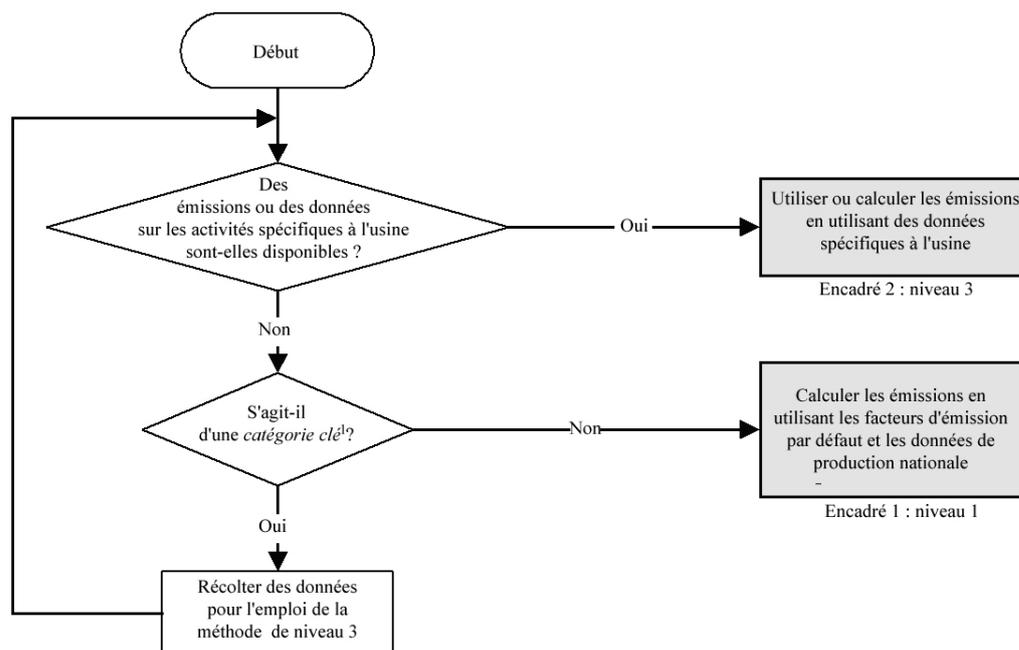
Figure 4.7 Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de CO₂ de la production de sidérurgique



Note :

Voir le chapitre 4 du volume 1, Choix méthodologiques et identification de catégories clé (en prenant note de la section 4.1.2 sur les ressources limitées), pour la discussion des *catégories clé* et de l'usage des diagrammes décisionnels.

Figure 4.8 Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de CH₄ de la production de sidérurgique



Note :

Voir le chapitre 4 du volume 1, Choix méthodologiques et identification de catégories clé (en prenant note de la section 4.1.2 sur les ressources limitées), pour la discussion des *catégories clé* et de l'usage des diagrammes décisionnels.

MÉTHODOLOGIE POUR L'ESTIMATION D'ÉMISSIONS DE CO₂

Méthode de niveau 1 – facteurs d'émission basés sur la production

L'approche de niveau 1 pour les émissions de la production sidérurgique est de multiplier les facteurs d'émission par défaut par les données sur la production nationale, comme montré dans l'équation 4.4. Puisque les émissions par unité de production sidérurgique varient considérablement suivant la méthode de production sidérurgique, les bonnes pratiques recommandent de déterminer la proportion d'acier produite selon les différents types de procédés de production, calculer les émissions pour chaque procédé, puis faire la somme des estimations. L'équation 4.4 considère la production sidérurgique de convertisseurs à oxygène, de fours électriques à arc (FEA) et de fours Martin. Dans le cas où les données sur les activités pour la production sidérurgique pour chaque procédé ne serait pas disponible, l'allocation par défaut de la production sidérurgique nationale totale parmi ces trois procédés de production est fournie dans le tableau 4.1 dans la section 4.2.2.3.

L'équation 4.5 calcule les émissions de la production de fonte brute non convertie en acier. Il est préférable d'estimer les émissions de cette production séparément parce que les facteurs d'émission pour des productions sidérurgiques intégrées (procédés de convertisseurs à l'oxygène et de fours Martin) tiennent compte des émissions des deux étapes.

L'équation 4.6 calcule les émissions de CO₂ de la production de fer poreux pour la méthode de niveau 1 en utilisant un facteur d'émission de CO₂.

Il est aussi conforme aux *bonnes pratiques* d'estimer les émissions des productions nationales d'aggloméré et de boulettes séparément, en utilisant les équations 4.7 et 4.8. Les équations 4.7 et 4.8 devraient être utilisées si le compilateur d'inventaire n'a pas d'informations détaillées sur les matériaux utilisés dans le procédé. Si les matériaux du procédé sont connus, les émissions devraient être calculées en utilisant la méthode de niveau 2.

Les émissions totales sont la somme des émissions de toutes les usines.

ÉQUATION 4.4
ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION SIDÉRURGIQUE (NIVEAU 1)

Sidérurgie : $E_{CO_2, non\ énergétique} = BOF \cdot FE_{BOF} + EAF \cdot FE_{EAF} + OHF \cdot FE_{OHF}$

ÉQUATION 4.5
ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION DE FONT EN GUEUSE NON TRANSFORMÉE EN ACIER
(NIVEAU 1)

$$\text{Production de fonte en gueuse : } E_{CO_2, \text{ non énergétique}} = IP \bullet FE_{IP}$$

ÉQUATION 4.6
ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION DE FER POREUX (NIVEAU 1)

$$\text{Fer poreux : } E_{CO_2, \text{ non énergétique}} = DRI \bullet FE_{DRI}$$

ÉQUATION 4.7
ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION D'AGGLOMÉRÉ (NIVEAU 1)

$$\text{Production d'aggloméré : } E_{CO_2, \text{ non énergétique}} = SI \bullet FE_{SI}$$

ÉQUATION 4.8
ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION DE BOULETTES (NIVEAU 1)

$$\text{Production de boulettes : } E_{CO_2, \text{ non énergétique}} = P \bullet FE_P$$

Où :

$E_{CO_2, \text{ non énergétique}}$ = émissions de CO₂ à rapporter dans le secteur PIUP, tonnes

BOF = quantité d'acier brut de convertisseurs à l'oxygène produite, tonnes

EAF = quantité d'acier brut de fours électriques à arc produite, tonnes

OHF = quantité d'acier brut de fours Martin produite, tonnes

IP = quantité de fonte en gueuse produite non convertie en acier, tonnes

DRI = quantité de fer poreux produite nationalement, tonnes

SI = quantité d'aggloméré produite nationalement, tonnes

P = quantité de boulettes produite nationalement, tonnes

FE_x = facteur d'émission, tonnes CO₂/tonne de x produite

Méthode de niveau 2

La méthode de niveau 2 est appropriée si le compilateur d'inventaire a accès aux données nationales sur l'utilisation de matériaux pour les productions sidérurgique, d'aggloméré, de boulettes et de fer poreux. De plus, comme abordé dans la section 4.2.2.5, il y a bon nombre d'autres entrées et sorties de procédés qui pourraient être considérées dans le niveau 2. Ces données peuvent être disponibles auprès d'agences gouvernementales responsables des statistiques sur la fabrication et l'énergie, d'associations d'entreprises ou de commerce industriel ou d'entreprises sidérurgiques individuelles. Le niveau 2 produira une estimation plus exacte que le niveau 1 parce qu'il prend en compte la quantité réelle d'entrées et de sorties contribuant aux émissions de CO₂.

Dans le calcul des émissions de la production de boulettes, la consommation d'énergie et la valeur de chauffage ainsi que le contenu carbonique du carburant peuvent être utilisés de manière similaire aux autres méthodologies.

ÉQUATION 4.9

ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION SIDÉRURGIQUE (NIVEAU 2)

$$E_{CO_2, \text{non énergétique}} = \left[PC \cdot C_{PC} + \sum_a (COB_a \cdot C_a) + CI \cdot C_{CI} + L \cdot C_L + D \cdot C_D + CE \cdot C_{CE} + \sum_b (O_b \cdot C_b) + COG \cdot C_{COG} - S \cdot C_S - IP \cdot C_{IP} - BG \cdot C_{BG} \right] \cdot \frac{44}{12}$$

ÉQUATION 4.10

ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION D'AGGLOMERE (NIVEAU 2)

$$E_{CO_2, \text{non énergétique}} = \left[CBR \cdot C_{CBR} + COG \cdot C_{COG} + BG \cdot C_{BG} + \sum_a (PM_a \cdot C_a) - SOG \cdot C_{SOG} \right] \cdot \frac{44}{12}$$

Où, pour la production sidérurgique :

$E_{CO_2, \text{non énergétique}}$ = émissions de CO₂ à rapporter dans le secteur PIUP, tonnes

PC = quantité de coke consommée dans la production sidérurgique (en excluant la production d'aggloméré), tonnes

COB_a = quantité de produit secondaire de coke *a* sur site consommée en haut fourneau, tonnes

CI = quantité de charbon directement injectée dans le haut fourneau, tonnes

L = quantité de pierre à chaux consommée dans la production sidérurgique, tonnes

L = quantité de dolomite consommée dans la production sidérurgique, tonnes

CE = quantité d'électrodes de charbon consommée dans des fours électriques à arc, tonnes

O_b = quantité d'autres matériaux carbonés et de procédés *b* consommée dans la production sidérurgique, telle qu'aggloméré ou déchets plastiques, tonnes

COG = quantité de gaz de four à coke consommée en haut fourneau de production sidérurgique, m³ (ou autre unité telle que tonnes ou GJ. La conversion de l'unité devrait être la même que dans le volume 2 : Énergie)

S = quantité d'acier produite, tonnes

IP = quantité de fer produite non convertie en acier, tonnes

BG = quantité de gaz de haut fourneau transférée hors site, m³ (ou autre unité telle que tonnes ou GJ. La conversion de l'unité devrait être la même que dans le volume 2 : Énergie)

C_x = contenu en carbone d'entrée ou de sortie du matériau *x*, tonnes de C/(unité pour matériau *x*) [par ex. tonnes C/tonne]

Où, pour la production d'aggloméré :

$E_{CO_2, \text{non énergétique}}$ = émissions de CO₂ à rapporter dans le secteur PIUP, tonnes

CBR = quantité de poussier de coke achetée et produite sur site utilisée dans la production d'aggloméré, tonnes

COG = quantité de gaz de four à coke consommée en haut fourneau de production d'aggloméré, m³ (ou autre unité telle que tonnes ou GJ. La conversion de l'unité devrait être la même que dans le volume 2 : Énergie)

BG = quantité de gaz de haut fourneau consommée dans la production d'aggloméré, m³ (ou autre unité telle que tonnes ou GJ. La conversion de l'unité devrait être la même que dans le volume 2, « Énergie »)

PM_a = quantité d'autre matériau du procédé *a*, autres que ceux listés comme termes séparés, tels que le gaz naturel et le pétrole, consommés pour la production de coke et d'aggloméré dans la production intégrée de coke et les usines de production sidérurgique, tonnes

SOG = quantité de dégagement gazeux d'aggloméré transféré hors site, soit à des usines de production sidérurgique, soit à d'autres usines, m³ (ou autre unité telle que tonnes ou GJ. La conversion de l'unité devrait être la même que dans le volume 2 : Énergie)

C_x = contenu en carbone d'entrée ou de sortie du matériau x , tonnes de C/(unité pour matériau x) [par ex. tonnes C/tonne]

L'équation 4.11 calcule les émissions de CO₂ de la production de fer poreux pour la méthode de niveau 2 basée sur la consommation de carburant et son contenu carbonique. Les émissions de la production de fer poreux sont dérivées du carburant en combustion, du poussier de coke, du coke métallurgique et d'autres matériaux carboneux et doivent être rapportées comme émissions de PIUP.

ÉQUATION 4.11
ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION DE FER POREUX (NIVEAU 2)

$$E_{CO_2, \text{non énergétique}} = (DRI_{NG} \cdot C_{NG} + DRI_{BZ} \cdot C_{BZ} + DRI_{CK} \cdot C_{CK}) \cdot \frac{44}{12}$$

Où :

$E_{CO_2, \text{non énergétique}}$ = émissions de CO₂ à rapporter dans le secteur PIUP, tonnes

DRI_{NG} = quantité de gaz naturel utilisée dans la production de fer poreux, GJ

DRI_{BZ} = quantité de poussier de coke utilisée dans la production de fer poreux, GJ

DRI_{CK} = quantité de coke métallurgique utilisée dans la production de fer poreux, GJ

C_{NG} = contenu carbonique du gaz naturel, tonne C/GJ

C_{BZ} = contenu carbonique du poussier de coke, tonne C/GJ

C_{CK} = contenu carbonique du coke métallurgique, tonne C/GJ

Méthode de niveau 3

À la différence de la méthode de niveau 2, la méthode de niveau 3 utilise des données spécifiques aux usines. La méthode de niveau 3 fournit une estimation encore plus exacte que celle de niveau 2 parce que les usines peuvent différer grandement dans leurs technologies et leurs conditions de procédé. Si des données réelles de mesures d'émissions de CO₂ sont disponibles auprès d'usines sidérurgiques, elles peuvent être agrégées pour être comptabilisées dans les émissions nationales de CO₂. Si des données sur les émissions de CO₂ spécifiques aux usines ne sont pas disponibles, les émissions de CO₂ peuvent être calculées à partir de données sur les activités spécifiques aux usines pour des agents réducteurs individuels, des gaz d'échappement et d'autres matériaux et produits de procédé. Les émissions nationales totales seront égales à la somme des émissions rapportées par chaque usine. Les équations 4.9 à 4.11 décrivent les paramètres nécessaires pour une comptabilisation des émissions spécifiques aux usines en utilisant la méthode de niveau 3 avec des données sur les activités spécifiques aux usines au niveau d'une usine. Les contenus en carbone pour chaque matériau au niveau des usines sont nécessaires pour l'application de la méthode de niveau 3.

MÉTHODOLOGIE POUR LE CH₄

Lorsque des matériaux contenant du carbone sont chauffés dans le fourneau pour la production d'aggloméré ou sidérurgique, les volatiles, y compris le méthane, sont relâchés. Avec des fourneaux ouverts ou semi couverts, la majorité des volatiles brûlera en CO₂ au-dessus de la charge, dans la hotte et dans les canaux de dégagement gazeux, mais une partie restera intacte sous forme de CH₄ et composés organiques volatiles non méthaniques (COVNM). Les quantités dépendent de l'opération du fourneau. Un chargement par arrosage réduit les quantités de CH₄ par rapport au chargement par lots. Une augmentation de la température dans la hotte (moins de faux air) réduira encore plus le contenu en CH₄.

Cette section décrit une méthode par défaut de niveau 1 et une méthode plus avancée de niveau 3 au niveau des usines pour le CH₄ de la production d'aggloméré ou sidérurgique, toutes deux similaires à l'approche décrite pour l'estimation d'émissions de CO₂. Il n'y a pas de méthode de niveau 2. Le CH₄ peut aussi être émis de procédés de production sidérurgique, mais ces émissions sont supposément négligeables. De ce fait les émissions de CH₄ des procédés de production sidérurgique ne sont pas discutées ici.

La méthodologie de niveau 1 pour le CH₄ se base sur des facteurs d'émission et des statistiques nationales sur la production.

ÉQUATION 4.12
ÉMISSIONS DE CH₄ DE LA PRODUCTION D'AGGLOMERE (NIVEAU 1)

$$\text{Production d'aggloméré : } E_{CH_4, \text{ non énergétique}} = SI \bullet FE_{SI}$$

ÉQUATION 4.13
ÉMISSIONS DE CH₄ DE HAUT FOURNEAU DE LA PRODUCTION DE FONTE EN GUEUSE (NIVEAU 1)

$$\text{Production de fonte en gueuse : } E_{CH_4, \text{ non énergétique}} = PI \bullet FE_{PI}$$

ÉQUATION 4.14
ÉMISSIONS DE CH₄ DE LA PRODUCTION DE FER POREUX (NIVEAU 1)

$$\text{Fer poreux : } E_{CH_4, \text{ non énergétique}} = DRI \bullet FE_{DRI}$$

Où :

$E_{CH_4, \text{ non énergétique}}$ = émissions de CH₄ à rapporter dans le secteur PIUP, kg

SI = quantité d'aggloméré produite nationalement, tonnes

PI = quantité de fer produite nationalement y compris le fer converti en acier et non converti en acier, tonnes

DRI = quantité de fer poreux produite nationalement, tonnes

FE_x = facteur d'émission, kg CH₄/tonne de x produite

La méthode de niveau 3 utilise des données sur les émissions spécifiques aux usines. Si des données réelles de mesures d'émissions de CH₄ sont disponibles pour la production de coke, elles peuvent être agrégées pour être comptabilisées dans les émissions nationales de CH₄. Les émissions nationales totales seront égales à la somme des émissions rapportées par chaque usine.

4.2.2.3 CHOIX DES FACTEURS D'ÉMISSION

MÉTHODE DE NIVEAU 1

Facteurs d'émission de dioxyde de carbone

Le tableau 4.1 fournit les facteurs d'émission par défaut pour les fabrications de coke, d'aggloméré, de boulettes et de fer. Les facteurs d'émission pour les trois méthodes de fabrication d'acier sont basés sur l'opinion d'experts exerçant des pratiques typiques pour les différents scénarios de production sidérurgique listés. Les facteurs d'émission par défaut prennent en compte toutes les entrées de carbone dans le haut fourneau. Il est supposé, en se basant sur le Document de Référence sur la Production Sidérurgique (Bureau Européen PRIP, 2001) de la Prévention et Réduction Intégrées de la Pollution (PRIP) (désigné dans cette section comme « Document MTD F&A PRIP ») que la plupart de l'entrée de carbone dans le haut fourneau provient de coke (60-90%).

Le facteur d'émission de CO₂ par défaut pour la production de coke est dérivé en calculant la moyenne des données sur les émissions de CO₂ spécifiques à 11 usines à coke européennes rapportées dans le Document MTD F&A PRIP. Les émissions de CO₂ sont rapportées dans le tableau 6.2 du Document MTD F&A PRIP en unités de kilogrammes de CO₂ par tonne d'acier liquide produite. Les émissions de CO₂ varient entre 175 et 200 kg de CO₂ par tonne d'acier liquide. Les facteurs de conversion fournis dans le tableau 6.2 du document PRIP sont de 940 kg de fonte en gueuse par tonne d'acier liquide et de 358 kg de coke par tonne de fonte en gueuse. Sur la base de ces facteurs de conversion, les émissions moyennes des 11 usines à coke européennes est de 0,56 tonnes de CO₂ par tonne de coke produite.

Le facteur d'émission de CO₂ pour la production d'aggloméré est dérivé en calculant la moyenne des données sur les émissions de CO₂ spécifiques à quatre usines à aggloméré européennes rapportées dans le Document MTD F&A PRIP. Les émissions de CO₂ sont rapportées dans le tableau 4.1 du Document MTD F&A PRIP en unités de kilogrammes de CO₂ par tonne d'acier liquide produite. Les émissions de CO₂ varient entre 205 et 240 kg de CO₂ par tonne d'acier liquide. Les facteurs de conversion fournis dans le tableau 4.1 du Document MTD F&A sont de 940 kg de fonte en gueuse par tonne d'acier liquide et de 1'160 kg d'aggloméré par tonne de fonte

en gueuse. Sur la base de ces facteurs de conversion, les émissions moyennes des quatre usines à aggloméré européennes sont de 0,2 kg de CO₂ par kg d'aggloméré produit.

Le facteur d'émission de CO₂ pour la production sidérurgique en haut fourneau est dérivé en calculant la moyenne des données sur les émissions de CO₂ spécifiques aux usines à aggloméré européennes rapportées dans le Document MTD F&A PRIP. Le contenu en CO₂ et en CO du gaz de haut fourneau produit par le procédé de fabrication de fer est rapporté dans les tableaux 7.2 et 7.3 du Document MTD F&A PRIP en unités de kilogrammes de CO₂ par tonne de fonte en gueuse produite et en kilogrammes de CO par tonne de fonte en gueuse produite. Le contenu en CO₂ varie entre 400 et 900 kg de CO₂ par tonne de fonte en gueuse produite et le contenu en CO varie entre 300 et 700 kg de CO par tonne de fonte en gueuse produite. Sur la base de la supposition que tout le gaz de haut fourneau est brûlé pour récupération d'énergie (et consommé en CO₂) au sein de l'usine sidérurgique et qu'aucun gaz de haut fourneau n'est transféré hors site, ceci correspond à un facteur d'émission de 1,35 kg de CO₂ par kg de fonte en gueuse produit.

TABLEAU 4.1		
FACTEURS D'EMISSION DE CO₂ PAR DEFAUT POUR LA PRODUCTION DE COKE ET LA PRODUCTION SIDERURGIQUE		
Procédé	Facteur d'émission	Source
Production d'aggloméré (tonne de CO ₂ par tonne d'aggloméré produite)	0,20	Production d'aggloméré : Bureau Européen PRIP (2001), Prévention et Réduction Intégrées de la Pollution (PRIP), Document de Référence sur les meilleures techniques à disposition pour la production sidérurgique, Décembre 2001, Tableau 4.1, page 29. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
Four à coke (tonne de CO ₂ par tonne de coke produite)	0,56	Production de coke : Bureau Européen PRIP (2001), Prévention et Réduction Intégrées de la Pollution (PRIP), Document de référence sur les meilleures techniques à disposition pour la production sidérurgique, Décembre 2001, Tableau 6.2, page 122. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
Production de fer (tonne de CO ₂ par tonne de fonte en gueuse produite)	1,35	Production de fer: Bureau Européen PRIP (2001), Prévention et Réduction Intégrées de la Pollution (PRIP), Document de référence sur les meilleures techniques à disposition pour la production sidérurgique, Décembre 2001, Tableaux 7.2 et 7.3. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
Production de fer poreux (tonne de CO ₂ par tonne de fer poreux produite)	0,70	Production de fer poreux : Bureau Européen PRIP (2001), Prévention et Réduction Intégrées de la Pollution (PRIP), Document de référence sur les meilleures techniques à disposition pour la production sidérurgique, Décembre 2001, Tableaux 10.1 page 322 et 10.4 page 331. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
Production de boulettes (tonne de CO ₂ par tonne de boulettes produite)	0,03	Production de boulettes : Bureau Européen PRIP (2001), Prévention et Réduction Intégrées de la Pollution (PRIP), Document de référence sur les meilleures techniques à disposition pour la production sidérurgique, Décembre 2001, Tableau 5.1, page 95. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
Méthode de fabrication d'acier		

TABLEAU 4.1 FACTEURS D'ÉMISSION DE CO₂ PAR DÉFAUT POUR LA PRODUCTION DE COKE ET LA PRODUCTION SIDERURGIQUE		
Convertisseur à l'oxygène (CAO) (tonne de CO ₂ par tonne d'acier produite)	1.46	Production d'acier : Consensus d'experts et Indicateurs de Performance Environnementaux IIIS 2003 ACIER (Institut International de l'Industrie Sidérurgique, 2004)
Four électrique à arc (FEA) (tonne de CO ₂ par tonne d'acier produite) **	0.08	Production d'acier : Consensus d'experts et Indicateurs de Performance Environnementaux IIIS 2003 ACIER (Institut International de l'Industrie Sidérurgique, 2004)
Fours Martin (FM) (tonne de CO ₂ par tonne d'acier produite)	1.72	Production d'acier : Consensus d'experts et Indicateurs de Performance Environnementaux IIIS 2003 ACIER (Institut International de l'Industrie Sidérurgique, 2004)
Facteur Global Moyen (65% CAO, 30% FEA, 5% FM) *	1.06	Production d'acier : Consensus d'experts et Indicateurs de Performance Environnementaux IIIS 2003 ACIER (Institut International de l'Industrie Sidérurgique, 2004)
<p>* Facteur basés sur les données internationales de 2003 où les CAO représentaient environ 63 % de la production mondiale d'acier et les FEA environ 33 % ; la production des FM représentait les 4 % restants mais est aujourd'hui en déclin.</p> <p>** Le facteur d'émission pour la fabrication d'acier en FEA ne comprend pas les émissions de la production de fer. Les facteurs d'émission pour la fabrication d'acier en CAO et en FM ne comprennent pas les émissions de la production de fer en hauts fourneaux.</p> <p>À noter que le facteur d'émission de CO₂ pour la fabrication d'acier en FEA de ce tableau est basé sur la production d'acier à partir de ferraille et que le facteur d'émission des FEA ne tient de ce fait pas compte des émissions de CO₂ de la fabrication de fer en haut fourneau. Le facteur d'émission de CO₂ de niveau 1 pour les FEA de ce tableau n'est donc pas applicable aux FEA utilisant la fonte en gueuse comme matière première.</p>		

Le facteur d'émission pour la production de boulettes est basé sur le Document MTD F&A PRIP qui fournit une plage de facteurs d'émission de 15,6 à 31,8 kg de CO₂ par tonne de produit. Toutefois, le facteur d'émission de CO₂ pour un procédé spécifique dépendra de la caractéristique des matières premières et des carburants utilisés dans le procédé. Le facteur d'émission varierait suivant l'utilisation de charbon, de gaz naturel ou de gaz de cokerie en tant que principal combustible. Le facteur d'émission par défaut fourni est à l'extrémité supérieure de la plage de données, 30 kg de CO₂ par tonne de produit, et devrait être utilisée si le compilateur d'inventaire ne sait rien des carburants ou des matières premières utilisées. Si le compilateur d'inventaire connaît les entrées utilisées, les émissions de CO₂ devraient être calculées en utilisant la méthode de niveau 2 en comptabilisant la consommation, la valeur de chauffage et le contenu carbonique du carburant.

Pour les besoins de calculs d'émissions du niveau 1, il est supposé que le carburant par défaut pour la production de fer poreux est le gaz naturel. Les procédés à base de gaz naturel constituent la grande majorité de la production des installations mondiales de fer poreux, avec 63 % de cette capacité sous forme de procédé MIDREX. La consommation de carburant pour la production de fer poreux par le procédé MIDREX est typiquement de 10,5 – 14,5 GJ de gaz naturel/tonne métrique solide de fer poreux en supposant que 100 % d'opération de minerai brut de fer. La consommation pour la production de fer briqueté à chaud à partir de minerais fins a été rapportée à 12,5 GJ de gaz naturel par tonne de produit pour le procédé FINMET et à 14 GJ de gaz naturel par tonne de produit pour le procédé CIRCORED. La consommation d'énergie par défaut de 12,5 GJ de gaz naturel par tonne de fer poreux produite et le contenu carbonique par défaut du gaz naturel de 15,3 kg de carbone par GJ de gaz naturel correspond à un facteur d'émission de CO₂ de 191,3 kg de carbone par tonne de fer poreux produite (0,7 tonnes de CO₂ par tonne de fer poreux produite).

Facteurs d'émission du méthane

Les facteurs d'émission par défaut du CH₄ sont fournis dans le tableau 4.2 ci-dessous. Le facteur d'émission de niveau 1 pour la production de coke est dérivé en calculant la moyenne des données sur les émissions de CH₄ spécifiques à 11 usines à coke européennes rapportées dans le Document MTD F&A PRIP. Les émissions de CH₄ sont rapportées dans le tableau 6.2 du Document MTD F&A PRIP en unités de grammes de CH₄ par tonne d'acier liquide produite. Les émissions de CH₄ varient entre 27 et 32 grammes de CH₄ par tonne d'acier liquide. Sur la base des facteurs de conversion, les émissions de CH₄ moyennes des 11 usines à coke européennes sont de 0,1 grammes de CH₄ par tonne de coke produite.

Le facteur d'émission de CH₄ de niveau 1 pour la production d'aggloméré est dérivé en calculant la moyenne des données sur les émissions de CH₄ des usines européennes d'aggloméré rapportées dans le Guide d'Inventaires des Émissions EMEP/CORINAIR (EEA, 2005) et dans d'autres rapports d'inventaires d'émissions. Les émissions de CH₄ sont rapportées dans le tableau 8.2a du Guide d'Inventaires des Émissions EMEP/CORINAIR

pour les usines d'aggloméré et de bouletage. Pour les usines d'aggloméré employant du poussier de coke, un facteur d'émission de 50 mg de CH₄ par MJ a été rapporté et une plage d'entrée de coke allant de 38 à 55 kg de coke par tonne d'aggloméré a été rapportée. Ceci correspond à un facteur d'émission moyen de 0,07 kg de CH₄ par tonne d'aggloméré en utilisant la valeur par défaut de 28,2 TJ/Gg de coke. Un facteur d'émission de 0,05 kg de CH₄ par tonne d'aggloméré a été rapporté pour les usines d'aggloméré en Finlande. (Pipatti, 2001)

Procédé	Facteur d'émission	Source
Production de coke	0,1 g par tonne de coke produite	Production de coke : Bureau Européen PRIP (2001), Prévention et Réduction Intégrées de la Pollution (PRIP), Document de référence sur les meilleures techniques à disposition pour la production sidérurgique, Décembre 2001, Tableau 6.2-3, page 122. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
Production d'aggloméré	0,07 kg par tonne d'aggloméré produite	Guide d'Inventaires des Émissions EMEP/CORINAIR (EEA, 2005). Procédés ave contact : <i>Usines d'aggloméré et de bouletage : Usines d'aggloméré et de bouletage (sauf combustion 030301)</i> Tableau 8.2a Facteurs d'émission pour composés gazeux
Production de fer poreux	1 kg /TJ (sur une base calorifique nette)	Facteur d'émission du volume d'énergie par défaut pour les émissions de CH ₄ provenant de la combustion de gaz naturel. [Voir Tableau 2.3, Chapitre 2.]

MÉTHODE DE NIVEAU 2

Les contenus carboniques par défaut du tableau 4.3 devraient être utilisés si un compilateur d'inventaire n'a pas d'informations sur les conditions des usines sidérurgiques et de production de coke, mais qu'il a des données sur les activités détaillées sur les matériaux du procédé et les transferts hors site. La méthode de niveau 2, comme décrite dans l'équation 4.2 pour la production intégrée de coke, les équations 4.9 à 4.11 pour la production sidérurgique et l'équation 4.3 pour la production de coke non intégrée, comprend les débits majeurs de matériaux dans les productions sidérurgique et de coke qui mènent à des émissions. Les contenus carboniques du tableau 4.3 sont basés sur ceux fournis dans le tableau 1.2 et 1.3 du chapitre 1 du volume 2.

TABLEAU 4.3	
CONTENUS CARBONNIQUES DE NIVEAU 2 SPECIFIQUES AUX MATERIAUX POUR LES PRODUCTIONS SIDERURGIQUE ET DE COKE	
(KG C/KG)	
Matériaux de procédé	Contenu carbonique
Gaz de hauts fourneaux	0,17
Charbon de bois*	0,91
Charbon ¹	0,67
Goudron de houille	0,62
Coke	0,83
Gaz de cokeries	0,47
Houille à coke	0,73
Fer poreux	0,02
Dolomite	0,13
Électrodes de carbone de FEA ²	0,82
Carbone de charge de FEA ³	0,83
Fioul ⁴	0,86
Coke de gaz	0,83
Fer briqueté à chaud	0,02
Pierre à chaux	0,12
Gaz naturel	0,73
Gaz du four d'acier à l'oxygène	0,35
Coke de pétrole	0,87
Fonte en gueuse achetée	0,04
Ferraille	0,04
Acier	0,01

Source : Les valeurs par défaut sont cohérentes avec celles fournies dans le vol. 2 et on été calculées avec les suppositions ci-dessous. Les références complètes pour les données du contenu en carbone sont comprises dans les tableaux 1.2 et 1.3 du volume 2, chapitre 1.

Remarques :

¹ Autre charbon bitumeux présumé

² 80% de coke de pétrole et 20% de goudron de houille présumés

³ Coke de four à coke présumé

⁴ Essence/diesel comme carburant présumé

* La quantité d'émissions de CO₂ du charbon de bois peut être calculée en utilisant cette valeur de contenu carbonique, mais elle devrait être rapportée comme zéro dans les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. (Voir section 1.2 du volume 1)

MÉTHODES DE NIVEAU 3

La méthode de niveau 3 se base sur des estimations d'émissions spécifiques aux usines ou l'application des équations de niveau 2 à un niveau spécifique à une usine. Le compilateur d'inventaire devrait s'assurer que chaque usine ait documenté les facteurs d'émission et les contenus carboniques utilisés et que ces facteurs d'émission sont indicatifs des procédés et des matériaux utilisés à l'usine. La méthode de niveau 3 requiert des contenus carboniques et des taux de masse de production/consommation pour tous les matériaux de procédé et les transferts hors site tels que ceux listés dans le tableau 4.3. Alors que le tableau 4.3 fournit des contenus carboniques par défaut, les *bonnes pratiques* du niveau 3 recommandent d'ajuster ces valeurs afin de refléter les variations au niveau de l'usine des valeurs représentées dans le tableau. Les facteurs par défaut listés dans le tableau 4.3 sont seulement appropriés pour la méthode de niveau 3 si des informations spécifiques à l'usine indiquent qu'elles correspondent aux conditions réelles. Il est prévu que pour la méthode de niveau 3, les données spécifiques aux usines incluraient à la fois des données sur le contenu carbonique et le taux de masse de production/consommation et que – de ce fait – les valeurs du tableau 4.3 ne seraient pas appliquées à la méthode de niveau 3 dans la plupart des cas.

4.2.2.4 CHOIX DES DONNÉES SUR LES ACTIVITÉS

MÉTHODE DE NIVEAU 1

La méthode de niveau 1 ne requiert que la quantité d'acier produite dans le pays par type de procédé, la quantité totale de fonte en gueuse produite qui n'est pas convertie en acier et les quantités totales de coke, de fer poreux, de boulettes et d'aggloméré produites; dans ce cas la quantité totale de coke produite est supposée être produite dans des usines intégrées de production de coke. Ces données peuvent être disponibles auprès d'agences gouvernementales responsables des statistiques de fabrication, des associations d'entreprises ou de commerce industriel ou d'entreprises sidérurgiques individuelles. Si un pays n'a que des données agrégées à disposition, un facteur pondéré devrait être utilisé. La production totale d'acier brut est définie comme la sortie totale de lingots utilisables, de produits semi-finis continuellement moulés et d'acier liquide pour des moulages.

MÉTHODE DE NIVEAU 2

La méthode de niveau 2 requiert la quantité totale de fer et d'acier, de gaz de cokerie, de gaz de haut fourneau et de matériaux de procédé tels que la pierre à chaux utilisée pour la production sidérurgique, la production de fer poreux et celle d'aggloméré dans le pays, en plus de la production sur site et hors site de coke. Ces données peuvent être disponibles auprès d'agences gouvernementales responsables des statistiques de fabrication ou d'énergie, des associations d'entreprises ou de commerce industriel ou d'entreprises sidérurgiques individuelles. Ces quantités peuvent ensuite être multipliées par les contenus carboniques par défaut appropriés du tableau 4.3 et additionnées afin de déterminer l'émission totale de CO₂ du secteur. Toutefois, les données sur les activités récoltées au niveau des usines sont préférables (niveau 3). S'il ne s'agit pas d'une *catégorie clé* et que les données pour les agents réducteurs et les matériaux de procédé totaux pour l'ensemble de l'industrie ne sont pas disponibles, les émissions peuvent être estimées en utilisant l'approche de niveau 1.

MÉTHODE DE NIVEAU 3

La méthode de niveau 3 nécessite la récolte, la compilation et l'agrégation de données spécifiques aux usines sur les émissions mesurées ou sur les masses et le contenu carbonique des matériaux produits/consommés. La méthode de niveau 3 peut être basée sur une approche de bilan massique (pour les émissions de CO₂) ou sur des données de surveillance directe des émissions (à la fois pour le CO₂ et le CH₄) spécifiques à une usine. La méthode de niveau 3 peut aussi requérir la récolte de données sur les activités au niveau des usines et leur agrégation pour les secteurs. Les données spécifiques aux usines devraient être agrégées à partir de données fournies par des entreprises individuelles de production sidérurgique et de coke. Les quantités de matériaux de procédé sont déterminées avec plus de précision de cette manière. Ces données peuvent aussi être disponibles auprès d'agences gouvernementales responsables des statistiques de fabrication ou d'énergie ou d'associations d'entreprises ou de commerce industriel. Les quantités appropriées peuvent ensuite être multipliées par les données de contenu carbonique spécifiques à l'usine, puis additionnées pour déterminer les émissions totales de CO₂ des secteurs, ainsi les émissions totales seront plus précises que lors de l'application de la méthode de niveau 2. Cette approche permet aussi une plus grande exactitude en permettant aux entreprises individuelles de fournir des données spécifiques aux usines plus précises et/ou d'utiliser des contenus carboniques pouvant varier des facteurs par défaut utilisés dans la méthode de niveau 2.

4.2.2.5 EXHAUSTIVITÉ

RAPPORT AVEC LE SECTEUR DE L'ÉNERGIE

Dans l'estimation des émissions de cette catégorie source : production de coke (énergie) et production sidérurgique (PIUP), il y a risque de double comptage ou omission soit dans les procédés industriels, soit dans le secteur de l'énergie. Puisque l'utilisation primordiale des sources de carbone (principalement le coke, mais aussi le charbon, le pétrole, le gaz naturel, la pierre à chaux, etc.) est de produire de la fonte en gueuse, les émissions de CO₂ et de CH₄ de la production sidérurgique, y compris la production d'aggloméré, sont considérées comme émissions de procédés industriels et devraient être rapportées comme telles. Les émissions de CO₂ et de CH₄ de la production de coke (à la fois la consommation de carburant et les pertes de conversion) sont catégorisées comme énergie de production et devraient être rapportées comme telles. Toutefois, pour la production sidérurgique intégrée avec production sur site de coke, il peut y avoir des courants de produit dérivés (par ex. gaz de four à coke, gaz de haut fourneau, produits dérivés de four à coke) entre l'usine de production de coke et celle de production sidérurgique, créant de potentiels problèmes de double comptage. Le carbone consommé sous forme de gaz de four à coke dans une usine de production sidérurgique ainsi que les émissions de CO₂ et de CH₄ résultantes devraient être catégorisés comme émissions de PIUP et rapportés comme telles. Le carbone consommé sous forme de gaz de haut fourneau dans une usine de production de coke sur site ainsi que les émissions de CO₂ et de CH₄ résultantes seraient catégorisées comme émissions du secteur de l'énergie et

devraient être rapportés comme telles. Le traçage de tels flux de carbone nécessitera une bonne connaissance de l'inventaire de cette catégorie de source.

À cause du rôle dominant du coke, il est important de considérer l'existence de la fabrication de coke dans une usine et de définir les limites d'un bilan carbonique dans une usine de production sidérurgique afin de s'assurer que les émissions de CO₂ ne soient pas comptées deux fois. Les émissions de CO₂ et de CH₄ associées à la production sur site et hors site de coke sont à rapporter sous le secteur de l'énergie (voir volume 2).

AUTRES FORMES DE CARBONE

Bien que le moyen prédominant de produire du fer brut, ou fonte en gueuse, soit le haut fourneau utilisant du coke, d'autres formes de carbone (par ex. charbon pulvérisé, dérivés de charbon, plastiques ou pneus recyclés, gaz naturel ou fioul) peuvent aussi être utilisées comme substitut à une portion du coke dans le haut fourneau. Dans ces cas, ces matériaux devraient être comptabilisés comme sources de carbone du procédé à la manière du coke, et il faudra prêter attention à déduire ces matériaux d'une quelconque statistique générale de l'énergie s'ils y sont inclus. Le fer peut aussi être produit dans d'autres types de convertisseurs de production sidérurgique que les hauts fourneaux, en utilisant souvent le gaz naturel ou le charbon au lieu du coke et ces sources de carbone devraient être prises en compte de la même manière que le coke parce qu'ils servent à la même fin.

Dans la plupart des hauts fourneaux, le procédé de production sidérurgique est aidé par l'utilisation de courants de carbonates (pierre à chaux ou dolomite). Puisque ces matériaux sont des matières premières nécessaires pour le procédé, ils devraient être comptabilisés comme une partie de l'inventaire de fabrication sidérurgique. Cela dit, il faut une fois de plus faire attention à ne pas compter deux fois les émissions associées à l'utilisation de pierre à chaux ou de dolomite si elles sont déjà comptabilisées dans le secteur des minéraux. (Voir section 2.5, Autres utilisations en procédés de carbonates, dans ce volume.)

AGGLOMÉRÉ

Quelques usines intégrées utilisent aussi des usines d'aggloméré pour convertir des produits pulvérulents contenant du fer en aggloméré utilisable comme matière première dans le haut fourneau. Typiquement, le coke pulvérulent (ou le poussier de coke) est utilisé comme carburant dans le procédé d'agglomération et est une source d'émissions de CO₂ et de CH₄. Si le coke pulvérulent est produit dans une usine de coke au sein de l'installation et que les émissions de CO₂ et de CH₄ sont comptabilisées dans l'entrée de charbon de l'installation, ou si le poussier de coke est autrement comptabilisé coke acheté, les émissions de CO₂ et de CH₄ du coke utilisé dans l'agglomération ne devrait pas être compté en double. Les émissions de la production d'aggloméré sont catégorisées comme émissions de PIUP et devraient être rapportées comme telles.

GAZ D'ÉCHAPPEMENT

Il est important de ne pas compter deux fois l'utilisation de sous produits gazeux dérivés de hauts fourneaux tels que le gaz de haut fourneau, ou des dégagements gazeux récupérés de CAO comme énergie dans le secteur de l'énergie en tant que source de CO₂, s'ils ont déjà été comptabilisés comme émissions de procédé. Les émissions de procédé devraient inclure toutes les entrées de carbone – utilisé comme réducteur primaire – vers le haut fourneau. Dans un cas typique d'usine entièrement intégrée de coke et de sidérurgie, des ajustements pourraient s'avérer nécessaires pour les sous produits du four à coke et le contenu carbonique de l'acier livré et devraient être clairement mentionnés dans la description des sources. Dans certains cas, il peut aussi être nécessaire de faire des ajustements pour le gaz de haut fourneau ou le fer qui pourrait être vendu ou transféré hors site. Les courants de procédé des gaz d'échappement sont clairement illustrés dans les figures 4.1- 4.5.

CONSOMMATION D'ÉLECTRODES

La consommation d'électrodes équivaut à environ 3,5 kg/tonne pour les FEA. Toutefois, suivant les caractéristiques des matériaux charges, un peu de carbone peut être ajouté dans le FEA (typiquement environ 20 kg/tonne) pour des raisons de contrôle de procédé ou peut être contenu dans les matériaux chargés eux-mêmes comme substituts au fer, une pratique de plus en plus répandue. Dans ces cas-là, les émissions de CO₂ et de CH₄ de ces matériaux carbonés additionnels devraient être considérées comme reliées au procédé et comptabilisées dans l'inventaire parce que leur contenu carbonique n'est pas susceptible d'avoir été comptabilisé ailleurs dans l'inventaire. De plus, si l'on utilise du gaz naturel en tant qu'agent réducteur pour améliorer les réactions dans un FEA, il devrait être comptabilisé comme source de carbone puisque tous les matériaux utilisés dans la fabrication sidérurgique sont rapportés comme émissions de PIUP.

Quelques productions d'acier spécialisées ont lieu dans des fours électriques à induction, dans ces cas la charge est de 100 % de ferraille et l'on n'emploie pas d'électrodes de carbone. Il n'y a pas d'émissions de CO₂ ou de CH₄ appréciables issues de ce procédé de fabrication d'acier.

PROCÉDÉ DU FOUR MARTIN

Bien que le four Martin ne soit plus prévalant, il peut s'avérer nécessaire de répertorier les émissions de CO₂ et de CH₄ issues de son procédé sidérurgique dans certains pays. Un four Martin est typiquement chargé avec à la fois du fer fondu et de la ferraille, comme dans le cas d'un CAO, et de l'oxygène est injecté dans le fourneau, mais la réduction du carbone dans le fer et la fusion de la charge ont aussi lieu en allumant des combustibles fossiles (par ex. gaz naturel, fioul, charbon ou goudron) à la surface du bain de matière première. Le carbone dans le fer peut être ignoré, comme dans le cas du CAO, parce qu'il a déjà été comptabilisé comme source de carbone pour la fabrication de fer. Par contre, le carbone dans les combustibles du procédé du FM devrait être comptabilisé sous les émissions de PIUP.

4.2.2.6 DÉVELOPPEMENT D'UNE SÉRIE TEMPORELLE COHÉRENTE

Les émissions de la production de coke, d'aggloméré et de la production sidérurgique devraient être calculées en utilisant la même méthode pour chaque année de la série temporelle. Lorsque les données pour soutenir une méthode plus rigoureuse pour toutes les années de la série temporelle ne sont pas disponibles, les bonnes pratiques recommandent de recalculer ces lacunes selon les directives fournies dans le chapitre 5 du volume 1, « Cohérence de la série temporelle et recalcul ».

4.2.3 Évaluation des incertitudes

Les facteurs d'émission par défaut pour la production de coke et la production sidérurgique utilisés dans le niveau 1 peuvent avoir une incertitude de $\pm 25\%$. Les contenus carboniques de niveau 2 spécifiques à un matériau auront vraisemblablement une incertitude de 10%. L'incertitude du facteur d'émission de niveau 3 sera vraisemblablement dans les 5% si les données de contenu carbonique et de taux massique spécifiques à l'usine sont disponibles. Le tableau 4.4 fournit un aperçu des incertitudes pour des facteurs d'émission, des contenus carboniques et des données sur les activités.

Méthode	Source de données	Plage d'incertitude
Niveau 1	Facteurs d'émission par défaut Données de production nationales	$\pm 25\%$ $\pm 10\%$
Niveau 2	Contenus carboniques par défaut spécifiques aux matériaux Données nationales d'agents réducteurs et de matériaux de procédés	$\pm 10\%$ $\pm 10\%$
Niveau 3	Données sur les matériaux de procédés dérivées des entreprises Données de CO ₂ et de CH ₄ mesurés spécifiques aux entreprises Facteurs d'émission spécifiques aux entreprises	$\pm 5\%$ $\pm 5\%$ $\pm 5\%$

Pour le niveau 1, le type de données sur les activités le plus important est la quantité d'acier produite pour chaque méthode employée. Les statistiques nationales devraient être disponibles et avoir une incertitude vraisemblable de $\pm 10\%$. Pour le niveau 2, la quantité totale d'agents réducteurs et de matériaux de procédé utilisés pour la production sidérurgique sera vraisemblablement dans une limite de 10%. Le niveau 3 nécessite des informations spécifiques aux usines sur les quantités d'agents réducteurs et de matériaux de procédé (incertitude d'environ 5%). Les données sur les émissions réelles pour le niveau 3 devront aussi avoir une incertitude de $\pm 5\%$. L'incertitude du niveau 3 peut être dérivée avec encore plus de précision en se basant sur une analyse des données réelles reçues.

4.2.4 Assurance qualité / contrôle qualité, établissement de rapports et documentation

4.2.4.1 ASSURANCE QUALITE / CONTROLE QUALITE (AQ/CQ)

Les *bonnes pratiques* recommandent d'effectuer des vérifications du contrôle qualité comme souligné dans le chapitre 6 du volume 1 et une révision experte des estimations d'émissions. Des vérifications additionnelles du contrôle qualité, comme souligné dans le chapitre 6 du volume 1 et des procédures d'assurance qualité peuvent aussi être applicables, en particulier si des méthodes de niveaux supérieurs sont utilisées pour déterminer les émissions à partir de cette catégorie source. Les agences d'inventaires sont encouragées à utiliser une méthode d'AQ/de CQ d'un niveau supérieur pour les *catégories clé*, comme identifié dans le volume 1 au chapitre 4.

En plus des directives du volume 1, des procédures spécifiques pertinentes de catégories sources sont présentées ci-dessous :

Revue des facteurs d'émission et des contenus carboniques

Les compilateurs d'inventaire devraient comparer les facteurs d'émission et les contenus carboniques nationaux agrégés avec les facteurs de contenus carboniques par défaut du GIEC de manière à déterminer si le facteur national est raisonnable par rapport à la valeur par défaut du GIEC. Des différences entre les facteurs nationaux par défaut devraient être expliquées et documentées, surtout si elles sont représentatives de circonstances différentes.

Vérification des données sur les activités spécifiques au site

Pour des données spécifiques au site, les compilateurs d'inventaire devraient revoir les incohérences entre les sites pour établir si elles reflètent des erreurs, des techniques de mesure différentes, ou si elles résultent de différences réelles en émissions, en conditions d'opération ou en technologie.

Les compilateurs d'inventaire devraient s'assurer que les facteurs d'émission et les données sur les activités sont développés en accord avec des méthodes de mesure internationalement reconnues et prouvées. Si les pratiques de mesures ne respectent pas ce critère, l'utilisation de ces facteurs d'émission ou de ces données sur les activités devrait être évaluée avec attention, les estimations d'incertitude reconsidérées et les qualifications documentées. S'il existe un standard élevé de mesure et qu'une AQ/CQ est en place sur la majorité des sites, l'incertitude des estimations d'émissions pourra être revue à la baisse.

Examen d'experts

Les compilateurs d'inventaire devraient inclure des organisations clé de commerce industriel associées à la production sidérurgique dans un procédé de révision. Ce procédé devrait débuter tôt dans le développement d'inventaire pour fournir l'entrée au développement, à l'examen de méthodes et à l'acquisition de données.

Des examens de tiers peuvent aussi être utiles pour cette catégorie de source, en particulier en rapport avec la récolte initiale de données, la transcription, les calculs et la documentation.

Vérification des données sur les activités

Pour tous les niveaux, les compilateurs d'inventaire devraient effectuer des vérifications avec le chapitre 2 du volume 2 (combustion stationnaire du secteur de l'énergie) afin de s'assurer que les émissions d'agents réducteurs et de matériaux de procédé (charbon, coke, gaz naturel, etc.) ne sont pas comptabilisés deux fois ou omis.

Les compilateurs d'inventaire devraient examiner toute incohérence entre les données de différentes usines pour établir si elles reflètent des erreurs, des techniques de mesure différentes, ou si elles résultent de différences réelles en émissions, en conditions d'opération ou en technologie. Ceci est particulièrement valable concernant les estimations spécifiques aux usines de quantités d'agents réducteurs ou les contenus carboniques rapportés de matériaux de procédé.

Les compilateurs d'inventaire devraient comparer des agrégations d'estimations au niveau des usines aux totaux de l'industrie pour la consommation de matériaux de procédé lorsque de telles données commerciales sont disponibles.

4.2.4.2 ÉTABLISSEMENT DE RAPPORTS ET DOCUMENTATION

Les bonnes pratiques recommandent de documenter et d'archiver toute l'information requise pour produire les estimations d'inventaire d'émissions nationales, comme souligné dans le volume 1 de la section 6.11. Il n'est guère pratique d'inclure toute la documentation dans le rapport d'inventaire national. Cependant, l'inventaire devrait inclure des résumés des méthodes utilisées et des références à des données source de sorte que les estimations d'émissions rapportées soient transparentes et que les étapes de leur calcul puissent être retracées.

MÉTHODE DE NIVEAU 1

Hormis l'établissement de rapports sur les émissions estimées, les bonnes pratiques recommandent de rapporter la production totale d'acier par procédé et les facteurs d'émission correspondants utilisés et de rapporter la quantité de fer non converti en acier produite. Dans la table correspondante, il devrait être noté que les émissions rapportées ne constituent qu'une partie des émissions totales du secteur et que les émissions de la production de coke sont catégorisées comme émissions de l'énergie et sont rapportées dans le chapitre 2 du volume 2, « combustion stationnaire du secteur de l'énergie ».

MÉTHODES DE NIVEAU 2

La *bonne pratique* est de documenter les émissions calculées ou estimées, toute donnée sur les activités et les facteurs d'émission correspondants ainsi que toute supposition ou donnée justifiant des facteurs d'émission alternatifs. Il devrait y avoir une explication claire du lien avec l'estimation de la catégorie de source 1A (combustion de carburant) pour les émissions de la production intégrée de coke afin de démontrer qu'aucun double comptage ou omission ne s'est produit.

MÉTHODE DE NIVEAU 3

La *bonne pratique* est de documenter les émissions calculées et toutes les données de source, en prenant en compte le besoin de protéger la confidentialité des données pour des usines spécifiques si elles sont sensibles à l'entreprise ou de nature propriétaire. De plus, les compilateurs d'inventaire devraient – et ce pour tous les niveaux – documenter toute information nécessaire pour reproduire l'estimation, ainsi que les procédures d'AQ/CQ.

4.3 PRODUCTION DE FERROALLIAGES

4.3.1 Introduction

Ferroalliage est le terme utilisé pour décrire des alliages concentrés de fer et d'un ou plusieurs autres métaux tels que silicium, manganèse, chrome, molybdène, vanadium ou tungstène. La production de métal de silicium est normalement incluse dans le groupe des ferroalliages parce que son procédé de production est relativement similaire à celui du ferrosilicium. Ces alliages sont utilisés pour désoxyder et modifier les propriétés matérielles de l'acier. Les usines de ferroalliages fabriquent des composés concentrés qui sont livrés aux usines de production sidérurgique afin d'être incorporés dans les alliages d'acier. Le métal de silicium est utilisé dans les alliages d'aluminium, pour la production de silicones et dans l'électronique. La production de ferroalliages implique un procédé de réduction métallurgique qui a pour résultat des émissions de dioxyde de carbone significatives.

Dans la production de ferroalliages, le minerai brut, les matériaux carbonés et les matériaux formant de la scorie sont mélangés et chauffés à des températures élevées pour être réduites et fondues. Les réducteurs carbonés sont normalement du charbon et du coke, mais du bio carbone (bois et charbon de bois) est aussi communément employé comme source de carbone primaire ou secondaire. Les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄) de la production de coke sont estimées dans la section 4.2 et rapportées dans le secteur de l'énergie. Des fours submergés électriques à arc avec des électrodes de graphite ou des électrodes Søderberg consommables sont utilisés. La chaleur est produite par les arcs électriques et par la résistance dans les matériaux de la charge. Les fours peuvent être ouverts, semi couverts ou couverts. Une terminologie communément employée est « four électrique à arc submergé à couvercle ouvert » (FEA). Dans le FEA, le fait de faire passer un courant à travers les électrodes de graphite suspendues dans une coque en forme de réceptacle dotée d'un revêtement en acier réfractant produit du chauffage. La réduction carbonique des oxydes métalliques se produit lors de la consommation de coke et d'électrodes de graphite. Le carbone des électrodes capture l'oxygène des oxydes métalliques pour former du CO, alors que les minerais sont réduits en métaux de base fondus. Les métaux composants sont alors combinés dans la solution. En plus des émissions provenant des

agents réducteurs et des électrodes, la calcination des courants de carbonates tels que la pierre à chaux ou la dolomite, lorsqu'ils sont employés, contribue à l'émission de gaz à effet de serre.

Les émissions primaires dans des fours à arc couverts consistent quasiment entièrement en CO, par opposition à du CO₂, dû à l'environnement fortement réducteur. Ce CO est plutôt utilisé pour la production d'énergie dans des bouilleurs, ou alors il est brûlé à la torche. L'énergie produite est supposée être utilisée en interne dans le site et le contenu carbonique du CO ensuite converti en CO₂ dans l'usine.

Le CO gazeux produit en fours ouverts ou semi-ouverts est brûlé en CO₂ au-dessus du niveau de la charge. Un quelconque CO émis dans l'atmosphère est supposé avoir été converti en CO₂ dans les jours suivants. Alors que le CO₂ est le principal gaz à effet de serre de la production de ferroalliages, des recherches récentes ont montré que le CH₄ et le N₂O constituent des émissions à effet de serre allant jusqu'à 5% des émissions de CO₂ de la production de ferrosilicium (FeSi) et de métal de silicium (Si-métal). Les méthodologies sont présentées pour les émissions de CO₂ et de CH₄ dans cette section. Ces émissions devraient être mieux investiguées pour l'ensemble de la production de ferroalliages et plus de mesures de ces émissions devraient être faites dans les productions de FeSi et de Si-métal.

4.3.2 Questions méthodologiques

4.3.2.1 CHOIX DE LA MÉTHODE

MÉTHODOLOGIE POUR LE CO₂

Les *Directives du GIEC* décrivent plusieurs approches pour le calcul des émissions de CO₂ de la production de ferroalliages. Pour des raisons pratiques, cette section adopte une approche de bilan massique où tout le CO émis est rapporté comme CO₂ émis. Le choix d'une *bonne pratique* dépend des circonstances nationales tel qu'il est montré dans le diagramme décisionnel dans la figure 4.9. La méthode de niveau 1 calcule les émissions à partir de facteurs d'émission généraux appliqués à la production totale de ferroalliages d'un pays. La méthode de niveau 1 est très simple, et elle peut mener à des erreurs dues à sa dépendance sur des suppositions plutôt que sur des données réelles. De ce fait, elle n'est appropriée que quand la production de ferroalliages n'est pas une *catégorie clé*. La méthode de niveau 2 calcule les émissions d'une consommation connue d'agents réducteurs, préférentiellement de données de consommation spécifiques aux usines, mais alternativement de données sur l'ensemble de l'industrie utilisant des facteurs similaires à ceux utilisés pour estimer les émissions issues de la combustion. La méthode de niveau 3 se base sur des facteurs d'émission spécifiques aux usines.

Méthode de niveau 1 : facteurs d'émission basés sur la production

La méthode d'estimation la plus simple est de multiplier les facteurs d'émission par défaut par le type de produit de ferroalliage comme illustré dans l'équation 4.15.

ÉQUATION 4.15
ÉMISSIONS DE CO₂ POUR LA PRODUCTION DE FERROALLIAGES PAR LA METHODE DE NIVEAU 1

$$E_{CO_2} = \sum_i (MP_i \cdot FE_i)$$

Où :

E_{CO_2} = émissions de CO₂, tonnes

MP_i = production de ferroalliages de type i , tonnes

FE_i = Facteur d'émission de CO₂ générique du ferroalliage de type i , tonnes de CO₂/tonne de ferroalliage spécifique produite

Méthode de niveau 2 : facteurs d'émission spécifiques aux matières premières basés sur la production

Une approche alternative est d'utiliser les facteurs d'émission pour les agents réducteurs. Pour les autres matières premières et produits, les contenus carboniques devraient être pris en considération.

ENCADRE 4.1**DEFINITIONS DE MOTS/SYMBOLS UTILISES DANS DES ÉQUATIONS DE CETTE SECTION**

Contenu signifie fraction de poids dans toutes les équations

 Σ signifie la somme de l'ensemble des i, h, j, k ou l **ÉQUATION 4.16****ÉMISSIONS DE CO₂ POUR LA PRODUCTION DE FERROALLIAGES PAR LA METHODE DE NIVEAU 2**

$$\begin{aligned}
 E_{CO_2} = & \sum_i (M_{\text{agent réducteur},i} \cdot FE_{\text{agent réducteur},i}) + \sum_h (M_{\text{minerai},h} \cdot CContent_{\text{minerai},h}) \cdot \frac{44}{12} \\
 & + \sum_j (M_{\text{matériau de formation de scories},j} \cdot CContenu_{\text{matériau de formation de scories},j}) \cdot \frac{44}{12} \\
 & - \sum_k (M_{\text{produit},k} \cdot CContent_{\text{produit},k}) \cdot \frac{44}{12} \\
 & - \sum_l (M_{\text{courant de non-produit sortant},l} \cdot CContenu_{\text{courant de non-produit sortant},l}) \cdot \frac{44}{12}
 \end{aligned}$$

Où :

 E_{CO_2} = émissions de CO₂ de la production de ferroalliages, tonnes $M_{\text{agent réducteur},i}$ = masse d'agent réducteur i , tonnes $FE_{\text{agent réducteur},i}$ = facteur d'émission de l'agent réducteur i , tonnes CO₂/tonne d'agent réducteur $M_{\text{minerai},h}$ = masse de minerai h , tonnes $CContent_{\text{minerai},h}$ = contenu carbonique du minerai h , tonnes C/tonne de minerai $M_{\text{matériau formant des scories},j}$ = masse de matériau j formant des scories, tonnes $CContenu_{\text{matériau formant des scories},j}$ = contenu carbonique de matériau j formant des scories, tonnes C/tonne de matériau $M_{\text{produit},k}$ = masse de produit k , tonnes $CContenu_{\text{produit},k}$ = contenu carbonique du produit k , tonnes C/tonne de produit $M_{\text{courant de non-produit sortant},l}$ = masse du courant l de non-produit sortant, tonnes $CContenu_{\text{courant de non-produit sortant},l}$ = contenu carbonique du courant l de non-produit sortant, tonnes C/tonneLa constante 44/12 est le facteur de multiplication pour la masse de CO₂ émise de chaque masse d'unité de carbone total utilisée.**Méthode de niveau 3 : calculs bases sur des quantités et des analyses d'agents réducteurs**

Les producteurs utilisent du charbon et du coke avec divers contenus en carbonate, en carbone fixe et en volatiles. Plus loin, les quantités de carbone dans les minerais de carbonate et les matériaux formant des scories varieront. La méthode la plus exacte est donc de calculer les émissions de CO₂ à partir de la quantité totale de carbone dans les agents réducteurs, la pâte d'électrodes, les minerais, les matériaux et produits formant des scories et la calcination est effectuée pour chaque ferroalliage produit.

ÉQUATION 4.17

ÉMISSIONS DE CO₂ POUR LA PRODUCTION DE FERROALLIAGES PAR LA METHODE DE NIVEAU 3

$$\begin{aligned}
 E_{CO_2} = & \sum_i \left(M_{\text{agent réducteur},i} \bullet C\text{Contenu}_{\text{agent réducteur},i} \right) \bullet \frac{44}{12} \\
 & + \sum_h \left(M_{\text{minerai},h} \bullet C\text{Contenu}_{\text{minerai},h} \right) \bullet \frac{44}{12} \\
 & + \sum_j \left(M_{\text{matériau formant des scories},j} \bullet C\text{Contenu}_{\text{matériau formant des scories},j} \right) \bullet \frac{44}{12} \\
 & - \sum_k \left(M_{\text{produit},k} \bullet C\text{Contenu}_{\text{produit},k} \right) \bullet \frac{44}{12} \\
 & - \sum_l \left(M_{\text{courant sortant de non-produit},l} \bullet C\text{Contenu}_{\text{courant sortant de non-produit},l} \right) \bullet \frac{44}{12}
 \end{aligned}$$

Où :

E_{CO_2} = émissions de CO₂ de la production de ferroalliages, tonnes

$M_{\text{agent réducteur}, i}$ = masse d'agent réducteur i , tonnes

$C\text{Contenu}_{\text{agent réducteur}, i}$ = contenu carbonique de l'agent réducteur i , tonnes C/tonne d'agent réducteur

$M_{\text{minerai}, h}$ = masse de minerai h , tonnes

$C\text{Contenu}_{\text{minerai}, h}$ = contenu carbonique du minerai h , tonnes C/tonne de minerai

$M_{\text{matériau formant des scories}, j}$ = masse de matériau j formant des scories, tonnes

$C\text{Contenu}_{\text{matériau formant des scories}, j}$ = contenu carbonique de matériau j formant des scories, tonnes C/tonne de matériau

$M_{\text{produit}, k}$ = masse de produit k , tonnes

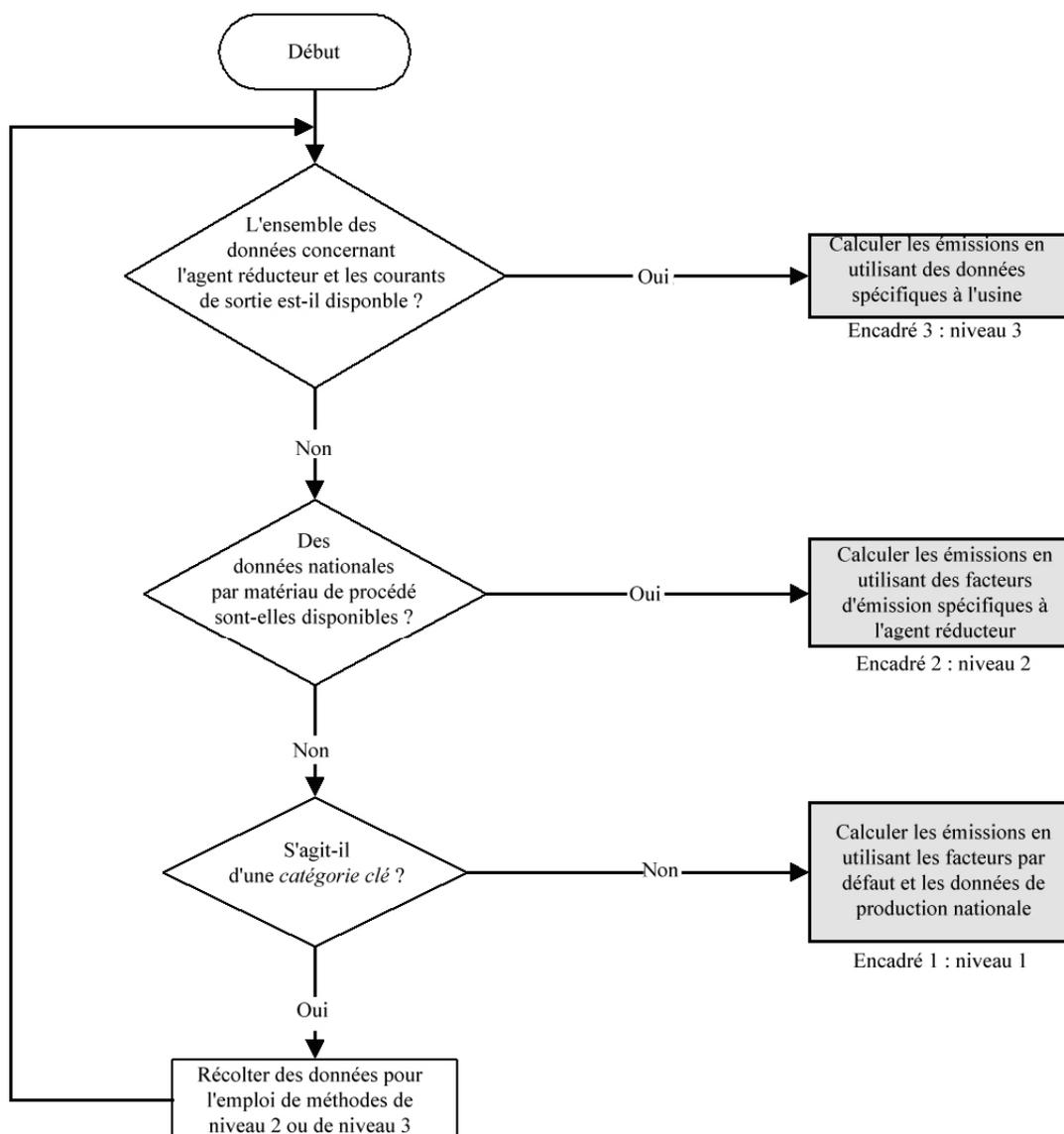
$C\text{Contenu}_{\text{produit}, k}$ = contenu carbonique du produit k , tonnes C/tonne de produit

$M_{\text{courant de non-produit sortant}, l}$ = masse du courant l de non-produit sortant, tonnes

$C\text{Contenu}_{\text{courant de non-produit sortant}, l}$ = contenu carbonique du courant l de non-produit sortant, tonnes C/tonne

La constante 44/12 est le facteur de multiplication pour la masse de CO₂ émise de chaque masse d'unité de carbone total utilisée. Le calcul devra être très exact si des analyses du total carbonique de tous les agents réducteurs sont disponibles.

Figure 4.9 Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de CO₂ de la production de ferroalliages



Note :

Voir le chapitre 4 du volume 1, Choix méthodologiques et identification de catégories clé (en prenant note de la section 4.1.2 sur les ressources limitées), pour la discussion des *catégories clé* et de l'usage des diagrammes décisionnels.

MÉTHODOLOGIE POUR LE CH₄ ET DISCUSSION DES ÉMISSIONS DE N₂O

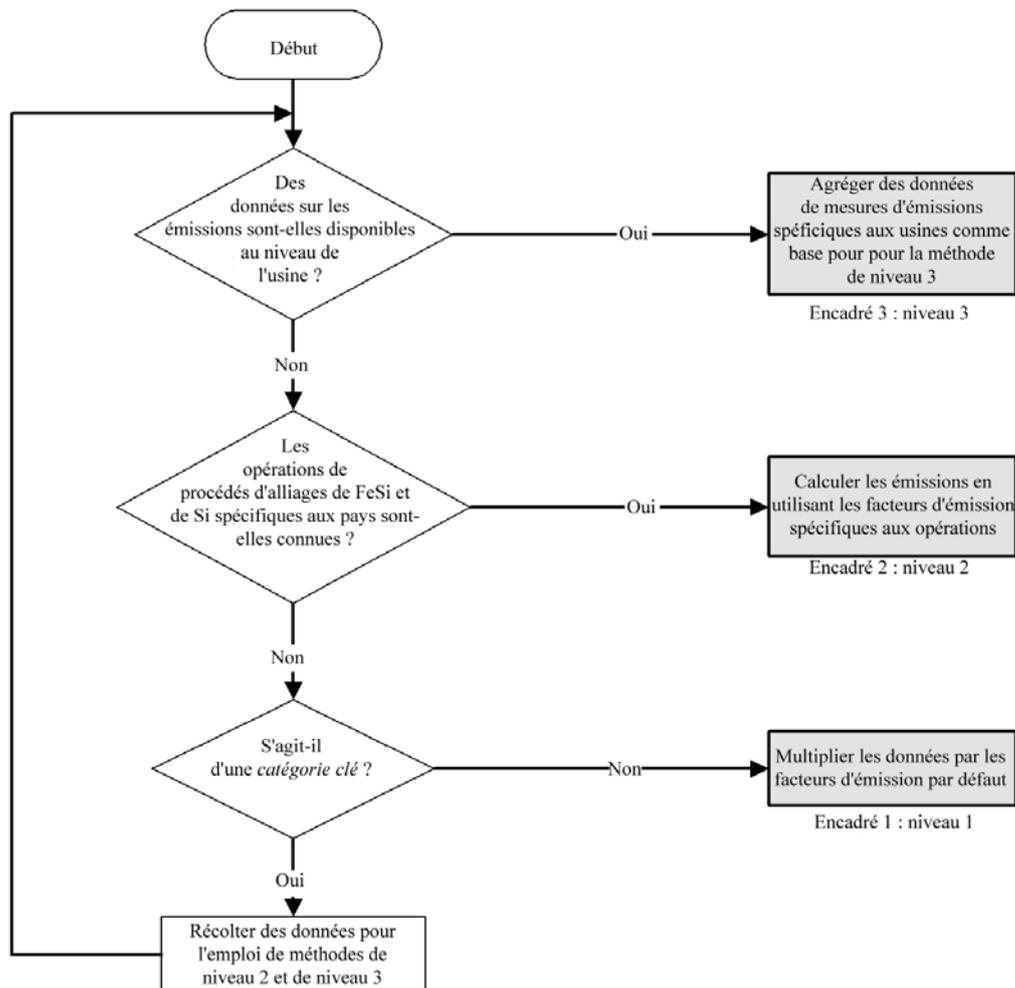
Le réchauffement de matériaux carboniques dans le four relâche des volatiles, y compris du méthane. Avec des fourneaux ouverts ou semi couverts – principalement **utilisés pour la production de FeSi et de ferroalliages de Si** – la majorité des volatiles brûlera en CO₂ au-dessus de la charge, dans la hotte et dans les canaux de dégagement gazeux, mais une partie restera intacte sous forme de CH₄ et de COVNM. Les quantités dépendent de l'opération du fourneau. Un chargement par arrosage réduit les quantités de CH₄ par rapport au chargement par lots. Une augmentation de la température dans la hotte (moins de faux air) réduira encore plus le contenu en CH₄.

Les *Directives du GIEC* décrivent plusieurs approches pour le calcul des émissions de CH₄ de la production de ferroalliages de FeSi – et de Si. Le choix d'une *bonne pratique* dépend des circonstances nationales tel qu'il est montré dans le diagramme décisionnel dans la figure 4.10. La méthode de niveau 1 calcule les émissions à partir de facteurs d'émission généraux appliqués à la production totale de ferroalliages d'un pays. La méthode de niveau 1 est très simple, et elle peut mener à des erreurs dues à sa dépendance sur des suppositions plutôt que sur des données réelles. De ce fait, elle devrait être employée uniquement quand la production de ferroalliages n'est

pas une *catégorie clé*. La méthode de niveau 2 calcule les émissions de facteurs d'émission spécifiques aux opérations. La méthode de niveau 3 utilise des données sur les émissions spécifiques aux usines.

Les erreurs associées aux estimations ou aux mesures d'émissions de N₂O de l'industrie des ferroalliages sont très grandes et – de ce fait – une méthodologie n'est pas fournie.

Figure 4.10 Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de CH₄ de la production de d'alliages de FeSi et de Si



Note :

Voir le chapitre 4 du volume 1, Choix méthodologiques et identification de catégories clé (en prenant note de la section 4.1.2 sur les ressources limitées), pour la discussion des *catégories clé* et de l'usage des diagrammes décisionnels.

Méthode de niveau 1 : Facteurs d'émission basés sur la production d'alliages de FeSi et de Si.

L'estimation la plus simple consiste à multiplier les facteurs d'émission par défaut par type de produit d'alliage de Si.

Les émissions totales sont calculées selon :

ÉQUATION 4.18
ÉMISSIONS DE CH₄ POUR LA PRODUCTION DE FERROALLIAGES PAR LA METHODE DE NIVEAU 1

$$E_{CH_4} = \sum_i (MP_i \cdot EF_i)$$

Où :

E_{CH_4} = émissions de CH₄, kg

MP_i = production d'alliage de Si de type i , tonnes

EF_i = Facteur d'émission générique de l'alliage de type i , kg de CH_4 /tonne d'alliage de Si spécifique produit

Méthode de niveau 2 : Facteurs d'émission basés sur la production d'alliages de FeSi et de Si spécifiques aux opérations

La méthode de niveau 2 se base aussi sur des facteurs d'émission mais à la différence de la méthode de niveau 1, ces opérations sont spécifiques.

Méthode de niveau 3 : Mesures directes

Les compilateurs d'inventaire sont vivement encouragés à mesurer les émissions de CH_4 là où les émissions de l'industrie des ferroalliages représentent une *catégorie clé*.

4.3.2.2 CHOIX DES FACTEURS D'EMISSION

FACTEURS D'ÉMISSION POUR LE CO_2

Méthode de niveau 1 : facteurs d'émission basés sur la production

Lorsque les seules données disponibles sont des statistiques nationales de production de ferroalliages, les bonnes pratiques recommandent d'utiliser les facteurs d'émission par défaut. Toutefois, à cause de facteurs fortement disparates suivant le type de production de ferroalliage, il est nécessaire de déterminer combien de tonnes sont produites par quelle méthode puis d'additionner la somme du produit des facteurs montrés dans le tableau 4.5 et les tonnages de production appropriés. Ces facteurs sont basés sur des opinions d'experts utilisant des pratiques typiques pour les scénarios de production de ferroalliages listés. Si un quelconque bio-carbone est utilisé, excepté des copeaux de bois pour la production de FeSi et de Si-métal, les facteurs ne peuvent être utilisés.

Type de ferroalliage	Facteur d'émission
Ferro-silicium à 45% de Si	2,5
Ferro-silicium à 65 % de Si	3,6
Ferro-silicium à 75% de Si	4,0
Ferro-silicium à 90% de Si	4,8
Ferro-manganèse (7% de C)	1,3
Ferro-manganèse (1% de C)	1,5
Sillicomanganèse	1,4
Métal de silicium	5,0
Ferrochrome	1,3 (1,6 pour une usine d'aggloméré)

Source : GIEC (1997), GIEC (2000), Olsen (2004) et Lindstad (2004)

Ces facteurs d'émission par défaut ont été estimés par Olsen (2004) pour les alliages de manganèse, par Lindstad (2004) pour les alliages de silicium et par Olsen, Monsen et Lindstad (1998) pour le FeCr.

Pour les alliages de FeCr, les facteurs d'émission sont basés sur la production où les matières premières contenant du Mn sont une mixture de minerais d'oxyde, de minerais de carbonate et de Mn-aggloméré importé. Si l'aggloméré est produit à l'étranger, il n'apportera aucune contribution à l'inventaire national de gaz à effet de serre. Les émissions de la production d'aggloméré doivent être rapportées lorsque la production est localisée.

Le facteur pour le FeSi et le Si-métal est basé sur une consommation de 110% de la quantité stoechiométrique de C d'ajustement nécessaire pour la réduction du SiO_2 . Pour les autres alliages de FeSi, le facteur est basé sur 114% de la quantité stoechiométrique de C d'ajustement.

Méthode de niveau 2 : facteurs d'émission spécifiques aux matières premières basés sur la production

Les facteurs d'émission pour les agents réducteurs utilisés dans la production d'alliages de manganèse et de silicium sont donnés dans le tableau 4.6. Les facteurs ont été estimés par Olsen (2004) pour l'utilisation dans la production d'alliages de manganèse et par Lindstad (2004) pour l'utilisation dans celle des alliages de silicium.

TABEAU 4.6 FACTEURS D'ÉMISSION DE CO₂ GÉNÉRIQUES POUR LA PRODUCTION DE FERROALLIAGES (TONNES DE CO₂/TONNE D'AGENT RÉDUCTEUR)	
Agent réducteur (utilisation)	Facteur d'émission
Charbon (pour FeSi et Si-métal)	3,1
Charbon (pour les autres ferroalliages)	* (Voir ci-dessous)
Coke (pour FeMn et SiMn)	3,2-3,3
Coke (pour Si et FeSi)	3,3-3,4
Coke (pour les autres ferroalliages)	* (Voir ci-dessous)
Électrodes précuites	3,54
Pâte d'électrode	3,4
Coke de pétrole	3,5
* Les compilateurs d'inventaire sont encouragés à utiliser des valeurs spécifiques au producteur basées sur un mélange moyen de charbon et/ou de coke pour chaque producteur de ferroalliages. Source : Olsen (2004), Lindstad (2004)	

Méthode de niveau 3 : calculs basés sur des quantités et des analyses d'agents réducteurs

Pour la méthode de niveau 3, il est nécessaire de déterminer les contenus carboniques des agents réducteurs utilisés dans les procédés de production. Mais la plupart des producteurs de ferroalliages n'analysent que sur la base du pourcentage de cendres et de volatiles, et calculent :

$$\% \text{ de C d'ajustement} = 100 \% - \% \text{ Cendres} - \% \text{ Volatiles.}$$

Dans ce cas, les contenus totaux en C des agents réducteurs, est calculé par l'équation suivante.

<p>ÉQUATION 4.19</p> <p>CONTENUS CARBONIQUES D'AGENTS RÉDUCTEURS DE FERROALLIAGES</p> $C_{\text{Contenu agent réducteur}, i} = F_{\text{Cajustement}, i} + F_{\text{volatiles}, i} \bullet C_v$

Où :

$C_{\text{Contenu agent réducteur}, i}$ = contenu carbonique de l'agent réducteur i , tonnes C/tonne d'agent réducteur

$F_{\text{Cajustement}, i}$ = fraction de masse de C d'ajustement de l'agent réducteur i , tonnes C/tonne d'agent réducteur

$F_{\text{volatiles}, i}$ = fraction de masse de volatiles de l'agent réducteur i , tonnes volatiles/tonne d'agent réducteur

C_v = contenu carbonique des volatiles, tonnes C/tonne volatiles

(Sauf si les informations sont disponibles, on utilise $C_v = 0,65$ pour le charbon et 0,80 pour le coke.)

FACTEURS D'ÉMISSION POUR LE CH₄

Méthode de niveau 1 : Facteurs d'émission basés sur la production d'alliages de FeSi et de Si.

Lorsque les seules données disponibles sont des statistiques nationales de production de ferroalliages, les bonnes pratiques recommandent d'utiliser les facteurs d'émission par défaut. Toutefois, à cause de facteurs disparates suivant le type de production de ferroalliage, il est nécessaire de déterminer combien de tonnes sont produites par quelle méthode puis d'additionner la somme du produit des facteurs montrés dans le tableau 4.7 et

les tonnages de production appropriés. Les facteurs d'émission par défaut pour le CH₄ sont basés sur les moyennes d'un petit nombre de mesures spécifiques aux opérations (montrés dans le tableau 4.7 pour le niveau 2) effectuées par SINTEF et DNV principalement en 1995 et 1998 (FFF (2000)).

TABLEAU 4.7
FACTEURS D'ÉMISSION PAR DÉFAUT POUR LE CH₄ (KG CH₄/TONNE DE PRODUIT)

Émission	Alliage	Facteur d'émission
CH ₄	Si-métal	1.2
	FeSi 90	1.1
	FeSi 75	1.0
	FeSi 65	1.0

Source : FFF (2000)

Méthode de niveau 2 : Facteurs d'émission basés sur la production d'alliages de FeSi et de Si spécifiques aux opérations

La méthode de niveau 2 se base aussi sur des facteurs d'émission mais à la différence de la méthode de niveau 1, ces facteurs sont spécifiques aux opérations. Autrement la procédure est la même que décrite dans l'équation 4.18, employant les valeurs du tableau 4.8.

TABLEAU 4.8
FACTEURS D'ÉMISSION POUR LE CH₄ (KG CH₄/TONNE DE PRODUIT)

Émission	Alliage	Opération du four		
		Chargement par lots	Chargement par arrosage ¹⁾	Chargement par arrosage et >750° ²⁾
CH ₄	Si-métal	1.5	1.2	0.7
	FeSi 90	1.4	1.1	0.6
	FeSi 75	1.3	1.0	0.5
	FeSi 65	1.3	1.0	0.5

¹ Le chargement par arrosage est le fait de charger par intermittences d'une minute.
² Température du gaz d'échappement mesurée lorsque le thermocouple ne peut pas « voir » la combustion dans la hotte du four.

Méthode de niveau 3 : Mesures directes

Le niveau 3 se base sur des mesures plutôt que sur des facteurs d'émission. Le compilateur d'inventaire devrait consulter les directives sur les mesures au niveau des usines décrites au chapitre 2 du volume 1 et sur l'AQ/CQ des mesures au chapitre 6 du volume 1.

4.3.2.3 CHOIX DES DONNEES SUR LES ACTIVITES

MÉTHODE DE NIVEAU 1

La méthode de niveau 1 nécessite uniquement la quantité de ferroalliage produite dans le pays par type de produit. Ces données peuvent être disponibles auprès d'agences gouvernementales responsables des statistiques de fabrication, des associations d'entreprises ou de commerce industriel ou d'entreprises de ferroalliages individuelles. Ces tonnages peuvent alors être multipliés par les facteurs d'émission correspondants du tableau 4.5 pour estimer les émissions de CO₂ du secteur et le tableau 4.6 pour estimer les émissions de CH₄ du secteur.

MÉTHODE DE NIVEAU 2

La méthode de niveau 2 nécessite la quantité totale d'agent réducteur et d'autres matériaux de procédé utilisés pour la production de ferroalliages dans le pays ainsi qu'une connaissance du procédé employé. Ces données peuvent être disponibles auprès d'agences gouvernementales responsables des statistiques de fabrication ou

d'énergie, des associations d'entreprises ou de commerce industriel ou d'entreprises de ferroalliages individuelles. Ces quantités peuvent ensuite être multipliées par les facteurs d'émission génériques appropriés des tableaux 4.6 et 4.8 et additionnées afin de déterminer les émissions totales de CO₂ et de CH₄ du secteur. Toutefois, les données sur les activités récoltées au niveau des usines sont préférables.

MÉTHODE DE NIVEAU 3

La méthode de niveau 3 nécessite la récolte, la compilation et l'agrégation de données sur les émissions spécifiques aux usines. Ces données peuvent être directement disponibles auprès des entreprises.

4.3.2.4 EXHAUSTIVITÉ

En estimant les émissions de cette catégorie de source, il existe un risque de double comptage ou d'omission aussi bien dans le procédé industriel que dans le secteur de l'énergie. Puisque l'utilisation primaire de sources de carbone (charbon, coke, pierre à chaux, dolomite etc.) est la production de ferroalliages, les émissions sont à considérer comme émissions de procédé industriel et devraient être rapportées en tant que telles. Il est à noter que le risque de double comptage est particulièrement élevé pour l'approche de niveau 1. Toute déviation du fait de rapporter des émissions comme étant issues d'un procédé industriel devrait être explicitement mentionné dans l'inventaire et une vérification de double comptage/exhaustivité devrait être faite.

4.3.2.5 DÉVELOPPEMENT D'UNE SÉRIE TEMPORELLE COHÉRENTE

Les émissions de la production de ferroalliages devraient être calculées en utilisant la même méthode pour chaque année de la série temporelle. Lorsque les données pour soutenir une méthode de niveau 3 pour toutes les années de la série temporelle ne sont pas disponibles, les bonnes pratiques recommandent de recalculer ces lacunes selon les directives fournies dans le volume 1 au chapitre 5.

4.3.3 Évaluation des incertitudes

Les incertitudes de la production de ferroalliages résultent avant tout d'incertitudes associées aux données sur les activités et – dans une moindre mesure – de l'incertitude liée au facteur d'émission. Bien que certains ferroalliages puissent être produits en utilisant du bois ou une autre biomasse comme source de carbone, l'information et les données sur ces pratiques n'étaient pas disponibles. Les émissions de ferroalliages produits avec du bois ou une autre biomasse ne seraient pas comptabilisées sous cette source parce que le carbone issu du bois est d'origine biogénique. Les émissions de ferroalliages produits avec des entrées de charbon de coke ou de graphite seraient comptées dans les tendances nationales, mais elles pourraient générer différentes quantités de CO₂ par unité de ferroalliage produite comparé à l'utilisation de coke de pétrole.

4.3.3.1 INCERTITUDES DES FACTEURS D'EMISSION

Pour le niveau 3, des données réelles sur les émissions seraient censées avoir une incertitude de moins de 5%. Pour le niveau 2, les facteurs d'émission spécifiques aux matériaux seraient censés être dans une marge de 10%, ce qui fournirait moins d'incertitude que pour le niveau 1. Les facteurs d'émission seraient censés être en dessous de 10% ou moins de 5% si des données de contenu carbonique spécifique aux usines sont disponibles. Les facteurs d'émission utilisés dans le niveau 1 peuvent avoir une incertitude de 25 à 50%.

4.3.3.2 INCERTITUDES DES DONNEES SUR LES ACTIVITES

Pour le niveau 1, le type de données sur les activités le plus important est la quantité de ferroalliage produite par type de produit. Les statistiques nationales devraient être disponibles et avoir une incertitude vraisemblable de moins de 5%. Le niveau 2, appliqué avec des informations spécifiques aux usines sur les quantités d'agents réducteurs et de matériaux de procédé telles qu'appliquées dans la méthode de niveau 2, ne devrait pas dépasser une incertitude de 5%.

TABLEAU 4.9
PLAGES D'INCERTITUDE

Méthode	Source de données	Plage d'incertitude
Niveau 1	Données de production nationales Facteurs d'émission par défaut	< 5% < 25 %
Niveau 2	Agent réducteur & matériaux de procédé dérivés d'entreprise Données nationales d'agents réducteurs et de matériaux de procédés Facteurs d'émission spécifiques aux entreprises Facteurs d'émission par défaut spécifiques aux matériaux	< 5% < 5% < 5% < 10%
Niveau 3	Données de CO ₂ mesuré spécifiques aux entreprises	< 5%

4.3.4 Assurance qualité / contrôle qualité, établissement de rapports et documentation

4.3.4.1 ASSURANCE QUALITE / CONTROLE QUALITE (AQ/CQ)

Les bonnes pratiques recommandent d'effectuer des vérifications du contrôle qualité comme souligné dans le chapitre 6 du volume 1 et une révision experte des estimations d'émissions. Des vérifications additionnelles du contrôle qualité, comme souligné dans le chapitre 6 du volume 1 et des procédures d'assurance qualité peuvent aussi être applicables, en particulier si des méthodes de niveaux supérieurs sont utilisées pour déterminer les émissions à partir de cette catégorie source. Les agences d'inventaires sont encouragés à utiliser une méthode d'AQ/de CQ d'un niveau supérieur pour les *catégories clé*, comme identifié dans le volume 1 au chapitre 4.

En plus des directives du volume 1, des procédures spécifiques pertinentes de catégories sources sont présentées ci-dessous :

Révision des facteurs d'émission

Les compilateurs d'inventaire devraient comparer les facteurs d'émission nationaux agrégés avec les facteurs d'émission par défaut du GIEC de manière à déterminer si le facteur national est raisonnable par rapport à la valeur par défaut du GIEC. Des différences entre les facteurs nationaux et les facteurs par défaut devraient être expliquées et documentées, surtout si elles sont représentatives de circonstances différentes.

Vérification des données sur les activités spécifiques au site

Pour des données spécifiques au site, les compilateurs d'inventaire devraient revoir les incohérences entre les sites pour établir si elles reflètent des erreurs, des techniques de mesure différentes, ou si elles résultent de différences réelles en émissions, en conditions d'opération ou en technologie. Pour la production de ferroalliages, les compilateurs d'inventaire devraient comparer les données d'usine avec d'autres usines.

Les compilateurs d'inventaire devraient s'assurer que les facteurs d'émission et les données sur les activités sont développés en accord avec des méthodes de mesure internationalement reconnues et prouvées. Si les pratiques de mesures ne respectent pas ce critère, l'utilisation de ces facteurs d'émission ou de ces données sur les activités devrait être évaluée avec attention, les estimations d'incertitude reconsidérées et les qualifications documentées. S'il existe un standard élevé de mesure et qu'une AQ/CQ est en place sur la majorité des sites, l'incertitude des estimations d'émissions pourra être revue à la baisse.

Examen d'experts

Les compilateurs d'inventaire devraient inclure des organisations clé de commerce industriel associées à la production de ferroalliages dans un procédé de révision. Ce procédé devrait débiter tôt dans le développement d'inventaire pour fournir l'entrée au développement, à l'examen de méthodes et à l'acquisition de données.

Des examens de tiers peuvent aussi être utiles pour cette catégorie de source, en particulier en rapport avec la récolte initiale de données, la transcription, les calculs et la documentation.

Vérification des données sur les activités

Pour tous les niveaux, les compilateurs d'inventaire devraient effectuer des vérifications avec le chapitre 2 du volume 2, « combustion stationnaire du secteur de l'énergie », afin d'assurer que les émissions d'agents réducteurs et de matériaux de procédé (charbon, coke, gaz naturel, etc.) ne sont pas comptabilisés deux fois ou omis.

Les compilateurs d'inventaire devraient examiner toute incohérence entre les données de différentes usines pour établir si elles reflètent des erreurs, des techniques de mesure différentes, ou si elles résultent de différences réelles en émissions, en conditions d'opération ou en technologie. Ceci est particulièrement valable concernant les estimations spécifiques aux usines de quantités d'agents réducteurs ou les contenus carboniques rapportés de matériaux de procédé.

Les compilateurs d'inventaire devraient comparer des agrégations d'estimations au niveau des usines aux totaux de l'industrie pour la consommation de matériaux de procédé lorsque de telles données commerciales sont disponibles.

4.3.4.2 ÉTABLISSEMENT DE RAPPORTS ET DOCUMENTATION

Les bonnes pratiques recommandent de documenter et d'archiver toute l'information requise pour produire les estimations d'inventaire d'émissions nationales, comme souligné dans le volume 1 de la section 6.11. Il n'est guère pratique d'inclure toute la documentation dans le rapport d'inventaire national. Cependant, l'inventaire devrait inclure des résumés des méthodes utilisées et des références à des données source de sorte que les estimations d'émissions rapportées soient transparentes et que les étapes de leur calcul puissent être retracées.

MÉTHODE DE NIVEAU 1

Hormis l'établissement de rapports d'émissions, les bonnes pratiques recommandent de rapporter la production totale de ferroalliages par procédé et les facteurs d'émission correspondants utilisés. Dans la table correspondante, il devrait être noté que les émissions rapportées ne constituent qu'une partie des émissions totales du secteur et que le reste est rapporté ailleurs, dans le chapitre 2 du volume 2, « combustion stationnaire du secteur de l'énergie ».

MÉTHODE DE NIVEAU 2

La *bonne pratique* est de documenter les émissions calculées ou estimées, toute donnée sur les activités et les facteurs d'émission correspondants ainsi que toute supposition ou donnée justifiant des facteurs d'émission alternatifs. Il devrait y avoir une explication claire du lien avec l'estimation du sous secteur de la combustion de carburant afin de démontrer qu'aucun double comptage ou omission ne s'est produit.

MÉTHODE DE NIVEAU 3

La *bonne pratique* est de documenter les émissions calculées et toutes les données de source, en prenant en compte le besoin de protéger la confidentialité des données pour des usines spécifiques si elles sont sensibles à l'entreprise ou de nature propriétaire. De plus, les compilateurs d'inventaire devraient – et ce pour tous les niveaux – documenter toute information nécessaire pour reproduire l'estimation, ainsi que les procédures d'AQ/CQ.

4.4 PRODUCTION PRIMAIRE D'ALUMINIUM

4.4.1 Introduction

Cette section couvre les procédés d'émissions de la production primaire d'aluminium². Dans le monde entier, l'aluminium primaire est produit exclusivement par le biais du procédé électrolytique de Hall-Héroult. Dans ce procédé, la cellule de réduction électrolytique diffère dans la forme et la configuration de l'anode de carbone et du système d'alimentation en alumine et appartient à un parmi quatre types de technologies : Pré-cuisson Travaillée Centralement (PCTC)³, Pré-cuisson Travaillée Latéralement (PCTL), Söderberg à Broche Horizontale (SBH) et Söderberg à Broche Verticale (SBV).

Les émissions de procédé les plus significatives sont :

- i) Émissions de dioxyde de carbone (CO₂) de la consommation d'anodes de carbone dans la réaction convertissant l'oxyde d'aluminium en aluminium métallique ;
- ii) Émissions d'hydrocarbures perfluorés (PFC) de CH₄ et C₂F₆ pendant les effets de l'anode.

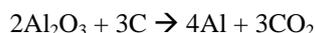
De plus petites quantités d'émissions de procédés telles que CO, SO₂ et COVNM sont émises. Le SF₆ n'est pas émis pendant le procédé électrolytique et n'est que rarement utilisé dans le procédé de fabrication d'aluminium, lorsque de petites quantités sont émises lors de l'addition de flux d'alliages spécialisés d'aluminium riches en magnésium⁴.

Les diagrammes décisionnels des figures 4.11 et 4.12 fournissent des directives pour la sélection d'une méthodologie d'estimation d'émissions de la production d'aluminium. Tous les compilateurs d'inventaire dans les pays à production d'aluminium devraient être en mesure d'implémenter à un niveau minimal la méthode de niveau 1 et donc d'assurer l'exhaustivité de l'établissement des rapports. Bien que ce chapitre présente des facteurs d'émission par défaut pour les émissions de CO₂ et de PFC, les pays devraient faire tout leur possible pour utiliser des méthodes de niveaux plus élevés parce que les taux d'émission peuvent varier considérablement et l'incertitude associée aux facteurs de niveau 1 est très élevée. Les fondeurs d'aluminium récoltent de façon routinière les données de procédé pour le calcul de facteurs d'émission de niveau 2.

4.4.2 Questions méthodologiques

4.4.2.1 CHOIX DE LA METHODE POUR LES EMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION PRIMAIRE D'ALUMINIUM

Durant des opérations normales, l'aluminium est produit à la cathode et le carbone est consommé à l'anode selon la réaction de réduction électrolytique :



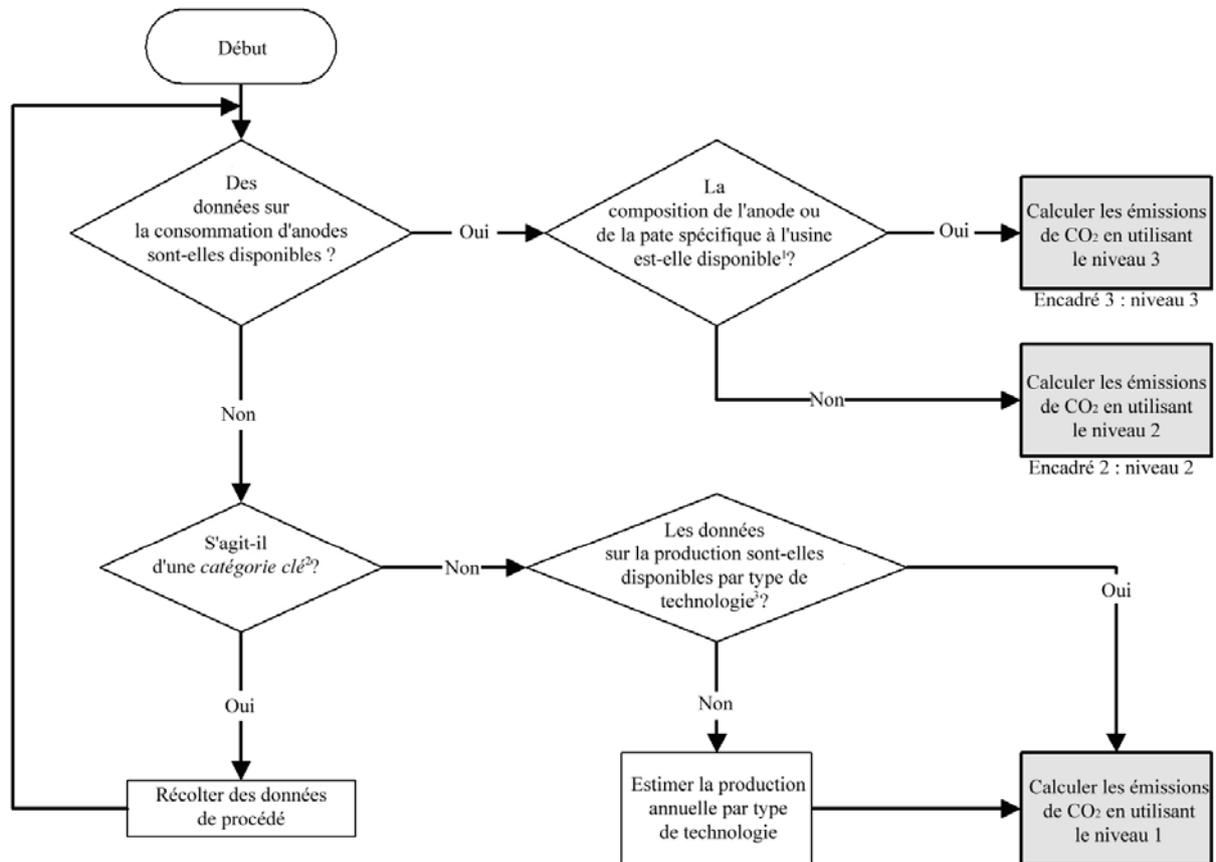
La majorité des émissions de dioxyde de carbone résultent de la réaction d'électrolyse de l'anode de carbone avec l'alumine (Al₂O₃). La consommation d'anodes de carbone pré-cuites et de pâte Söderberg est la source principale d'émissions de dioxyde de carbone liées au procédé de la production primaire d'aluminium. D'autres sources d'émissions de dioxyde de carbone liées au procédé et associées à la cuisson d'anodes pré-cuites constituent moins de 10% des émissions totales de dioxyde de carbone non liées à l'énergie.

Les réactions menant aux émissions de dioxyde de carbone sont bien comprises et les émissions sont très directement liées aux tonnes d'aluminium produites à travers les équations électrochimiques fondamentales pour la réduction d'alumine à une anode de carbone et l'oxydation de procédés thermiques. Ces deux procédés fondamentaux de production de dioxyde de carbone sont inclus dans les paramètres de procédé surveillés de façon routinière dans les usines de production, la consommation nette de carbone d'anode pour les usines à pré-cuisson, ou la consommation de pâte d'anodes pour les usines Söderberg.

Pour le calcul d'émissions de CO₂, les données de production requièrent une différenciation des technologies Söderberg ou pré-cuisson. Il n'y a pas besoin d'autre différenciation quand à la technologie spécifique Söderberg ou de pré-cuisson.

Le diagramme décisionnel montré dans la figure 4.11 décrit les *bonnes pratiques* dans le choix d'une méthodologie d'inventaire de CO₂ appropriée aux circonstances nationales.

Figure 4.11 Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de CO₂ de la production primaire d'aluminium



Note:

1. Voir Institut International d'Aluminium, le Protocole d'Emissions à effet de serre du secteur de l'Aluminium, 2005.
2. Voir le chapitre 4 du volume 1, Choix méthodologiques et identification des catégories clé (prendre note de la section 4.1.2 sur les ressources limitées), pour la discussion des *catégories clé* et l'utilisation de diagrammes décisionnels.
3. Pour le calcul d'émissions de CO₂, les données sur la production nécessitent la différenciation technologique telle que Soderberg ou précuisson. Il n'y a pas besoin de différencier d'avantage entre les différents types de technologies de Soderberg ou de précuisson.

Méthode de niveau 1 pour les émissions de CO₂

La méthode de niveau 1 pour le calcul d'émissions de CO₂ n'utilise que des caractérisations larges des technologies de cellule (pré cuisson ou Soderberg) comme estimation d'un ordre plus bas des émissions de CO₂ issues de la production d'aluminium. Étant donné l'incertitude associée à la méthode de niveau 1, les bonnes pratiques recommandent d'utiliser des méthodes de niveau plus élevé si le CO₂ d'aluminium primaire est une *catégorie clé*.

Les émissions totales de CO₂ sont calculées selon l'équation 4.20.

ÉQUATION 4.20
ÉMISSIONS ISSUES DE PROCÉDÉS DE CO₂ DE LA CONSOMMATION D'ANODES ET/OU DE PATE (MÉTHODE DE NIVEAU 1)

$$E_{CO_2} = EF_P \cdot MP_P + EF_S \cdot MP_S$$

Où :

E_{CO_2} = émissions de CO₂ de la consommation d'anodes et/ou de pâte, tonnes de CO₂

EF_P = facteur d'émission spécifique à la technologie de pré cuisson (tonnes CO_2 /tonne d'aluminium produite)

MP_P = production de métal du procédé de pré cuisson (tonnes Al)

EF_S = facteur d'émission spécifique à la technologie Söderberg (tonnes CO_2 /tonne d'aluminium produite)

MP_S = production de métal du procédé Söderberg (tonnes Al)

Méthodes de niveau 2 ou 3 pour le émissions de CO_2

Pour les procédés de pré cuisson et Söderberg, les émissions de CO_2 sont calculées en utilisant une approche de bilan de masse qui suppose que le contenu carbonique de la consommation nette d'anode ou de pâte est finalement émise comme CO_2 . Les méthodes de niveau 2 pour les procédés de pré cuisson et Söderberg utilisent des valeurs typiques de l'industrie pour les impuretés alors que le niveau 3 utilise des concentrations réelles d'impuretés. Le choix de la méthode entre les niveaux 2 et 3 dépendra de si les données de composition de l'anode ou la pâte sont disponibles au niveau des usines individuelles.

Émissions de CO_2 pour cuves à anodes précuites (PCTC et PCTL) :

Les émissions de CO_2 pour les méthodes de niveau 2 et 3 pour les cuves à anodes précuites sont calculées selon l'équation 4.21. Le niveau 3 nécessite des données spécifiques d'opérations d'usines pour toutes les composantes de l'équation 4.21, alors que le niveau 2 se base sur des valeurs par défaut pour certains composants. La section 4.4.2.2 ci-dessous fournit plus de détails sur l'utilisation de ces paramètres.

ÉQUATION 4.21
ÉMISSIONS DE CO_2 DE LA CONSOMMATION D'ANODES PRECUITES
(MÉTHODES DE NIVEAUX 2 ET 3)

$$E_{CO_2} = NAC \cdot MP \cdot \frac{100 - S_a - cendres_a}{100} \cdot \frac{44}{12}$$

Où :

E_{CO_2} = émissions de CO_2 de la consommation d'anodes précuites, tonnes de CO_2

MP = production totale de métal, tonnes Al

NAC = consommation nette d'anodes précuites par tonne d'aluminium, tonnes C/tonne Al

S_a = contenu sulfurique des anodes cuites, % de poids

$Cendres_a$ = contenu en cendres des anodes cuites, % de poids

$44/12$ = masse moléculaire du CO_2 : rapport de masse atomique du carbone, sans dimension

L'équation 4.21 devrait être appliquée à chaque fondeur à pré cuisson du pays et les résultats devraient être additionnés pour arriver au total national d'émissions. Il est possible d'utiliser une approche hybride de niveau 2/3 si les données sur le contenu sulfurique ou en cendres ne sont pas disponibles pour chaque fondeur.

Les émissions de la combustion de carburants fossiles dans la production d'anodes cuites sont couvertes dans le volume 2, « énergie ». Toutefois, deux autres sources d'émissions de CO_2 sont associées aux fours de cuisson d'anodes – la combustion de matière volatile relâchée pendant l'opération de cuisson et celle du matériau de garniture du four de cuisson (coke). Les équations 4.22 et 4.23 peuvent être utilisées pour le calcul de telles émissions.⁵

ÉQUATION 4.22
ÉMISSIONS DE CO_2 DE LA COMBUSTION DE VOLATILES D'ASPHALTE (MÉTHODES DE NIVEAUX 2 ET 3)

$$E_{CO_2} = (GA - H_w - BA - WT) \cdot \frac{44}{12}$$

Où :

E_{CO_2} = émissions de CO_2 de la combustion de volatiles d'asphalte, tonnes de CO_2

GA = poids initial des anodes vertes, tonnes

H_w = contenu d'hydrogène des anodes vertes, tonnes

BA = production d'anodes cuites, tonnes

WT = goudron excédentaire récolté, tonnes

ÉQUATION 4.23
ÉMISSIONS DE CO₂ DE MATÉRIAU DE GARNITURE DE FOUR (MÉTHODES DE NIVEAUX 2 ET 3)

$$E_{CO_2} = PCC \cdot BA \cdot \frac{100 - S_{pc} - Cendres_{pc}}{100} \cdot \frac{44}{12}$$

Où :

E_{CO_2} = émissions de CO₂ de matériau de garniture de four, tonnes de CO₂

PCC = consommation de coke de garniture, tonnes/tonne de BA

BA = production d'anodes cuites, tonnes

S_{pc} = contenu sulfurique du coke de garniture, % de poids

$Cendres_{pc}$ = contenu en cendres du coke de garniture, % de poids

Émissions de CO₂ pour cuves Söderberg (SBH et SBV) :

Les émissions de CO₂ pour les méthodes de niveau 2 et 3 pour les cuves Söderberg sont calculées selon l'équation 4.24. Le niveau 3 nécessite des données spécifiques d'opérations d'usines pour toutes les composantes de l'équation 4.24, alors que le niveau 2 se base sur des valeurs par défaut pour certains composants. La section 4.4.2.2 ci-dessous fournit plus de détails sur l'utilisation de ces paramètres :

ÉQUATION 4.24⁶
ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA CONSOMMATION DE PÂTE (MÉTHODES DE NIVEAUX 2 ET 3)

$$E_{CO_2} = \left(PC \cdot MP - \frac{CSM \cdot MP}{1000} - \frac{BC}{100} \cdot PC \cdot MP \cdot \frac{S_p + Cendres_p + H_p}{100} - \frac{100 - BC}{100} \cdot PC \cdot MP \cdot \frac{S_c + Cendres_c}{100} - MP \cdot CD \right) \cdot \frac{44}{12}$$

Où :

E_{CO_2} = émissions de CO₂ de la consommation de pâte, tonnes de CO₂

MP = production totale de métal, tonnes Al

PC = consommation de pâte, tonnes/tonne Al

CSM = émissions de matière soluble en cyclohexane, kg/tonne Al

BC = contenu en pâte du liant, % de poids

S_p = contenu sulfurique de l'asphalte, % de poids

$Cendres_p$ = contenu en cendres de l'asphalte, % de poids

H_p = contenu en hydrogène de l'asphalte, % de poids

S_c = contenu sulfurique du coke calciné, % de poids

$Cendres_c$ = contenu en cendres du coke calciné, % de poids

CD = carbone dans la poussière réduite des cuves Söderberg, tonnes de C/tonne Al

44/12 = masse moléculaire du CO₂ : rapport de masse atomique du carbone, sans dimension

L'équation 4.24 devrait être appliquée à chaque fondeur du pays utilisant le procédé Söderberg et les résultats devraient être additionnés pour arriver au total national d'émissions. Il est possible d'utiliser une approche hybride de niveau 2/3 si les données sur le contenu sulfurique ou en cendres ne sont pas disponibles pour chaque fondeur.

4.4.2.2 CHOIX DES FACTEURS D'ÉMISSION POUR LES ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION PRIMAIRE D'ALUMINIUM

Méthode de niveau 1 pour les émissions de CO₂

Le tableau 4.10 liste les facteurs d'émission par défaut pour le CO₂ par tonne d'aluminium. Les facteurs d'émission de 1,6 et 1,7 pour les technologies de pré cuisson et Söderberg sont basés sur des données d'une étude globale de l'Institut International d'Aluminium (IIA) (Institut International d'Aluminium, Évaluation des cycles de vie de l'aluminium, 2000).

Technologie	Facteur d'émission (tonnes CO ₂ /tonne de carbure produite)	Incertitude (+/-%)
Pré cuisson ⁷	1,6	10
Söderberg	1,7	10

Source : Institut International d'Aluminium, Évaluation du cycle de vie de l'aluminium (IIA, 2000).

Méthodes de niveau 2 ou 3 pour les émissions de CO₂

Émissions de CO₂ pour cuves à anodes précuites (PCTC et PCTL) :

Les facteurs les plus significatifs de l'équation 4.21 sont la production de métal et la consommation nette d'anode pour la technologie de pré cuisson. Ces deux paramètres devraient être récoltés auprès d'usines individuelles pour utilisation avec le niveau 2 ou 3. Les autres termes de l'équation apportent des ajustements mineurs pour les composantes non carboniques de l'anode (par exemple, le soufre et la cendre) et ne sont de ce fait pas critiques. Le niveau 3 est basé sur l'utilisation de données spécifiques d'opération d'usines pour ces composantes mineures, alors que le niveau 2 se base sur les valeurs par défaut listées dans les tableaux 4.11 à 4.13. Le niveau 3 améliore l'exactitude des résultats, mais l'amélioration dans l'exactitude ne dépassera probablement pas les 5%. Le carbone consommé par tonne d'aluminium produite est typiquement enregistré par des usines de production d'aluminium primaire dû à son importance économique. Les usines utilisant des cuves à anodes précuites désignent cette consommation comme « consommation nette d'anode ou de carbone », et celles utilisant les cuves Söderberg comme « consommation de pâte d'anode ».

Paramètre	Méthode de niveau 2		Méthode de niveau 3	
	Source de données	Incertitude (+/-%)	Source de données	Incertitude (+/-%)
MP : Production totale de métal (<i>tonnes d'aluminium par année</i>)	Registres d'usines individuelles	2	Registres d'usines individuelles	2
NAC : consommation nette d'anodes par tonne d'aluminium (<i>tonnes par tonne Al</i>)	Registres d'usines individuelles	5	Registres d'usines individuelles	5
S _a : soufre contenu dans les anodes cuites (<i>% de poids</i>)	Utiliser valeur typique de l'industrie, 2	50	Registres d'usines individuelles	10
Cendres _a : cendres contenues dans les anodes cuites (<i>% de poids</i>)	Utiliser valeur typique de l'industrie, 0,4	85	Registres d'usines individuelles	10

Source : IIA (2005b).

TABLEAU 4.12				
SOURCES DE DONNÉES ET INCERTITUDES POUR LES PARAMÈTRES UTILISÉS DANS UNE MÉTHODE DE NIVEAU 2 OU 3 POUR LES ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA COMBUSTION DE VOLATILES D'ASPHALTE (PCTC ET PCTL), VOIR ÉQUATION 4.22				
Paramètre	Méthode de niveau 2		Méthode de niveau 3	
	Source de données	Incertitude (+/-%)	Source de données	Incertitude (+/-%)
GA : poids initial des anodes vertes traitées (<i>tonnes d'anodes vertes par année</i>)	Registres d'usines individuelles	2	Registres d'usines individuelles	2
H _w : contenu d'hydrogène des anodes vertes (<i>tonnes</i>)	Utiliser valeur typique de l'industrie, 0,005 • GA	50	Registres d'usines individuelles	10
BA : Production d'anodes cuites (<i>tonnes par année</i>)	Registres d'usines individuelles	2	Registres d'usines individuelles	2
WT : goudron excédentaire récolté (<i>tonnes</i>) a) Fours Riedhammer b) Tous les autres fours	Utiliser valeur typique de l'industrie, a) 0,005 • GA b) insignifiant	50	Registres d'usines individuelles	20

Source : IIA (2005b).

TABLEAU 4.13				
SOURCES DE DONNÉES ET INCERTITUDES POUR LES PARAMÈTRES UTILISÉS DANS UNE MÉTHODE DE NIVEAU 2 OU 3 POUR LES ÉMISSIONS DE CO₂ DE MATERIAU DE GARNITURE DE FOUR A CUISSON (PCTC ET PCTL), VOIR ÉQUATION 4.23				
Paramètre	Méthode de niveau 2		Méthode de niveau 3	
	Source de données	Incertitude (+/-%)	Source de données	Incertitude (+/-%)
PCC : consommation de coke de garniture (<i>tonnes par tonne de BA</i>)	Utiliser valeur typique de l'industrie, 0,015	25	Registres d'usines individuelles	2
BA : Production d'anodes cuites (<i>tonnes par année</i>)	Registres d'usines individuelles	2	Registres d'usines individuelles	2
S _{pc} : contenu sulfurique du coke de garniture (% de poids)	Utiliser valeur typique de l'industrie, 2	50	Registres d'usines individuelles	10
Cendres _{pc} : contenu en cendres du coke de garniture (% de poids)	Utiliser valeur typique de l'industrie, 2,5	95	Registres d'usines individuelles	10

Source : IIA (2005b).

Émissions de CO₂ pour cuves Söderberg (SBH et SBV) :

Le liant contenu dans la pâte, BC, varie typiquement de moins d'un % et fait partie de la pratique opérationnelle par usine. C'est un terme important de l'équation 4.24 parce que le contenu carbonique de l'asphalte, agissant comme liant, est plus bas que celui du coke, qui compose le reste de la pâte. Comme note auparavant pour la consommation d'anodes précuites, les composantes les plus importantes de l'équation 4.24 sont la production de métal et la consommation de pâte. Les autres termes de l'équation 4.24 composent des petites corrections basées sur les impuretés et les différences minimales en contenu carbonique des matériaux de la pâte. Le niveau 3 est basé sur l'utilisation de données spécifiques d'opération d'usines pour ces composantes mineures, alors que le niveau 2 se base sur les valeurs par défaut listées dans le tableau 4.14. Le niveau 3 améliore l'exactitude des résultats ; toutefois, l'impacte attendu sera de moins de 5% du résultat.

TABEAU 4.14
SOURCES DE DONNÉES ET INCERTITUDES POUR LES PARAMÈTRES UTILISÉS DANS UNE MÉTHODE DE NIVEAU 2 OU 3 POUR
LES ÉMISSIONS DE CO₂ DE CUVES SØDERBERG (SBH ET SBV)

Paramètre	Méthode de niveau 2		Méthode de niveau 3	
	Source de données	Incertitude des données (+/-%)	Source de données	Incertitude des données (+/-%)
MP : Production totale de métal (tonnes d'aluminium par année)	Registres d'usines individuelles	2	Registres d'usines individuelles	2
PC : Consommation de pâte (tonnes par tonne Al)	Registres d'usines individuelles	2-5	Registres d'usines individuelles	2-5
CSM : émissions de matière soluble en cyclohexane (kg/tonne Al)	Utiliser valeur typique de l'industrie, SBH – 4,0 SBV – 0,5	30	Registres d'usines individuelles	15
BC : contenu de la pâte en liant (% de poids)	Utiliser valeur typique de l'industrie, Pâte sèche – 24 Pâte humide – 27	25	Registres d'usines individuelles	5
S _p : soufre contenu dans l'asphalte (% de poids)	Utiliser valeur typique de l'industrie, 0,6	20	Registres d'usines individuelles	10
Cendres _p : cendres contenues dans l'asphalte (% de poids)	Utiliser valeur typique de l'industrie, 0,2	20	Registres d'usines individuelles	10
H _p : hydrogène contenu dans l'asphalte (% de poids)	Utiliser valeur typique de l'industrie, 3,3	50	Registres d'usines individuelles	10
S _c : contenu sulfurique du coke calciné (% de poids)	Utiliser valeur typique de l'industrie, 1,9	20	Registres d'usines individuelles	10
Cendres _c : cendres contenues dans le coke calciné (% de poids)	Utiliser valeur typique de l'industrie, 0,2	50	Registres d'usines individuelles	10
CD : carbone dans la poussière des anodes (tonnes de carbone dans le réduit par tonne d'Al)	Utiliser valeur typique de l'industrie, 0,01	99	Registres d'usines individuelles	30

4.4.2.3 CHOIX DE LA MÉTHODE POUR LES PFC :

Durant l'électrolyse, l'alumine (Al₂O₃) est dissoute dans une fusion de fluor comprenant environ 80 % de poids de cryolite (Na₃AlF₆). Les hydrocarbures perfluorés (CF₄ et C₂F₆, collectivement désignés comme PFC) sont formés de la réaction de l'anode carbonique avec la cryolite fondue durant une condition de procédé altérée appelée « effet anode ». Un effet anode se produit lorsque la concentration d'alumine dans l'électrolyte est trop basse pour supporter la réaction d'anode standard.

ENCADRE 4.2
DESCRIPTION DE L'EFFET ANODE

Un effet anode est une condition altérée de procédé où une quantité insuffisante d'alumine est dissoute dans l'électrolyte causant une surélévation du voltage par rapport au niveau d'opération normal, causant l'émission de gaz contenant des PFC.

Les niveaux 2 et 3 pour les PFC sont basés sur des données de procédé spécifiques aux usines pour les effets anode, qui sont récoltées régulièrement. Dans le choix d'une méthode pour les PFC, il devrait être noté que l'incertitude associée aux méthodologies de niveaux plus élevés est significativement plus basse que pour le niveau 1, de ce fait les niveaux 2 et 3 sont fortement recommandés si ceci est une *catégorie clé*. Suivant le type de technologie de production, l'incertitude des méthodes pour les PFC va de plusieurs centaines de pour cent pour la méthode de niveau 1 à moins de vingt pour cent pour la méthode de niveau 3. La méthodologie de niveau 3 pour les inventaires de PFC devrait être utilisée avec des coefficients de pente ou de survoltage calculés à partir de données de mesures obtenues en utilisant de bonnes pratiques de mesure (Agence de Protection de l'Environnement des USA et IIA, 2003). La communication avec les producteurs d'aluminium principaux déterminera la disponibilité des données de procédé, qui, à leur tour, dicteront la méthode à utiliser pour calculer les émissions. Les usines mesurent de manière routinière la performance de l'effet anode sous forme de minutes par jour et par cuve d'effet anode ou le survoltage de l'effet anode. Les émissions de PFC sont directement liées à la performance de l'effet anode via un coefficient, soit un coefficient de pente, soit un de survoltage.

Le diagramme décisionnel montré dans la figure 4.12 décrit les *bonnes pratiques* dans le choix d'une méthodologie d'inventaire de PFC appropriée pour les circonstances nationales. Pour des usines à haute performance émettant de très petites quantités de PFC, la méthode de niveau 3 ne fournira vraisemblablement pas une amélioration significative dans l'inventaire global de GES des usines en comparaison à la méthode de niveau 2⁸. Par conséquent, les bonnes pratiques recommandent d'identifier ces usines avant de sélectionner les méthodes, dans l'intérêt de l'attribution de priorité aux ressources. Les paramètres identifiant ces usines à haute performance dépendent du type de données de procédé récoltées par usine. Les usines à haute performance sont celles qui opèrent avec moins de 0,2 minutes d'effet anode par jour par cuve quand les minutes d'effet anode sont mesurées. Lorsque le survoltage est enregistré, les usines à haute performance opèrent avec moins de 1,4 mV de survoltage. De plus, pour ces usines à haute performance, une mesure exacte du coefficient de PFC de niveau 3 est difficile parce que la très basse fréquence des effets anode nécessite un temps étendu pour obtenir de solides résultats. Le statut d'une usine en tant que hautement performante devrait être évalué annuellement parce que des facteurs économiques, tels que les redémarrages des chaînes de production après une période d'inactivité, ou des facteurs de procédé, tels que des périodes de contingentement énergétique pourraient causer des augmentations temporaires de la fréquence des effets anode. De plus, au fil du temps, des usines n'ayant initialement pas rempli les critères de haute performance pourraient devenir hautement performantes à travers l'implémentation de nouvelles technologies ou de pratiques professionnelles améliorées. Noter que dans tous les cas, l'application de différents niveaux pour différentes années nécessitera une implémentation assidue pour assurer la cohérence de la série temporelle.

Pour les autres usines, l'approche de niveau 3 est préférable parce que les coefficients spécifiques aux usines mèneront à des estimations plus exactes. Si aucune mesure de PFC n'a été faite pour établir un coefficient spécifique à l'usine, la méthode de niveau 2 pourra être utilisée jusqu'à ce que des mesures aient été faites et que les coefficients de niveau 3 aient été établis. Les pays peuvent utiliser une combinaison des niveaux 2 et 3 suivant le type de données disponibles auprès d'usines individuelles.

Méthode de niveau 1 : Utilisation de facteurs d'émission par défaut basés sur la technologie

La méthode de niveau 1 utilise des facteurs d'émission par défaut basés sur la technologie employée pour les quatre types principaux de technologies de production (PCTC, PCTL, SBH et SBV). Les émissions totales de PFC peuvent être calculées selon l'équation 4.25. Le niveau d'incertitude de la méthode de niveau 1 est bien plus grand parce que la performance de l'effet anode d'usines individuelles, qui est le déterminant clé des effets anode et donc des émissions de PFC, n'est pas directement prise en compte. Le niveau 1 peut aller de paire avec de *bonnes pratiques* uniquement lorsque les PFC d'aluminium primaire ne sont pas une *catégorie clé* et quand les données de procédé pertinentes ne sont pas disponibles auprès des usines opérantes.

ÉQUATION 4.25
ÉMISSIONS DE PFC (METHODE DE NIVEAU 1)

$$E_{CF_4} = \sum_i (FE_{CF_4,i} \bullet PM_i)$$

et

$$E_{C_2F_6} = \sum_i (FE_{C_2F_6,i} \bullet PM_i)$$

Où :

E_{CF_4} = émissions de CF_4 de la production d'aluminium, kg CF_4

$E_{C_2F_6}$ = émissions de C_2F_6 de la production d'aluminium, kg C_2F_6

$FE_{CF_4,i}$ = facteur d'émission par défaut par type de technologie de cuve i pour le CF_4 , kg CF_4 /tonne Al

$FE_{C_2F_6,i}$ = facteur d'émission par défaut par type de technologie de cuve i pour le C_2F_6 , kg C_2F_6 /tonne Al

PM_i = production de métal par type de technologie de cuve i , tonnes Al

Méthodes de niveaux 2 et 3 : basées sur la performance de l'effet anode

Il y a deux équations différentes pour l'estimation des émissions de CH_4 par usine individuelle, qui sont toutes deux basées sur la relation entre l'effet anode et la performance. Celles-ci sont les équations de coefficient de pente et de survoltage. Les deux types de coefficients sont basés sur des mesures directes de PFC. Le niveau 2 fait usage d'un coefficient moyen calculé à partir de mesures dans de nombreuses usines, alors que le niveau 3 se base sur des mesures à l'usine individuelle. Comme les mécanismes de procédé produisant des émissions de PFC sont similaires pour le CF_4 et le C_2F_6 , les deux gaz devraient être pris en considération ensemble lors de l'estimation d'émissions de PFC. Les émissions de C_2F_6 sont calculées dans toutes les méthodes décrites ici comme une fraction des émissions de CF_4 .

Avec une relation établie entre les données de procédé d'effet d'anode et les émissions de PFC, les données de procédé récoltées continuellement peuvent être utilisées pour calculer les émissions de PFC au lieu de mesures directes de PFC. Le choix entre les deux relations d'estimation dépend de la technologie de contrôle de procédé utilisée. L'équation 4.26 devrait être utilisée lorsque les minutes d'effet anode par cuve par jour sont enregistrées et l'équation 4.27 lorsque les données de survoltage sont enregistrées.

Coefficient de pente : Le coefficient de pente représente les kg de CF_4 par tonne d'aluminium produite, divisé par les minutes d'effet anode par cuve par jour. Puisque les émissions de PFC sont mesurées par tonne d'aluminium produite, elles incluent les effets d'ampérage de cuve et de rendement de courant, les deux facteurs principaux déterminant la quantité d'aluminium produite dans la cuve. L'équation 4.26 décrit la méthode de pente pour le CF_4 et le C_2F_6 .

ÉQUATION 4.26
ÉMISSIONS DE PFC PAR LA METHODE DE PENTE (MÉTHODES DE NIVEAUX 2 ET 3)

$$E_{CF_4} = S_{CF_4} \bullet MEA \bullet PM$$

et

$$E_{C_2F_6} = E_{CF_4} \bullet F_{C_2F_6/CF_4}$$

Où :

E_{CF_4} = émissions de CF_4 de la production d'aluminium, kg CF_4

$E_{C_2F_6}$ = émissions de C_2F_6 de la production d'aluminium, kg C_2F_6

S_{CF_4} = coefficient de pente pour le CF_4 , (kg CF_4 /tonne Al)/(Min d'EA/cuve-jour)

MEA = minutes d'effet anode par cuve par jour, minutes d'EA/cuve-jour

PM = production de métal, tonnes Al

$F_{C_2F_6/CF_4}$ = fraction de poids de C_2F_6/CF_4 , kg C_2F_6 /kg CF_4

Coefficient de survoltage : Certains systèmes de contrôle de procédé caractérisent les effets anode en calculant une statistique de *Survoltage d'Effet Anode*¹⁰ (SEA). Le SEA est défini comme le voltage de cuve supplémentaire au voltage d'opération visé et ce paramètre a été montré comme étant un bon indicateur prédictif des émissions de PFC lorsqu'il est enregistré par le système de contrôle de procédé. La technologie de contrôle de SEA de procédé est utilisée dans beaucoup de fondeurs modernes. Le SEA est calculé en additionnant le produit du temps et du voltage au-dessus du voltage d'opération visé et en divisant ce nombre par le temps au cours duquel ces données ont été récoltées.

ÉQUATION 4.27
ÉMISSIONS DE PFC PAR LA METHODE DE SURVOLTAGE (MÉTHODES DE NIVEAUX 2 ET 3)

$$E_{CF_4} = OVC \cdot \frac{SEA}{CE/100} \cdot PM$$

et

$$E_{C_2F_6} = E_{CF_4} \cdot F_{C_2F_6/CF_4}$$

Où :

E_{CF_4} = émissions de CF_4 de la production d'aluminium, kg CF_4

$E_{C_2F_6}$ = émissions de C_2F_6 de la production d'aluminium, kg C_2F_6

OVC = coefficient de survoltage pour le CF_4 , (kg CF_4 /tonne Al)/mV

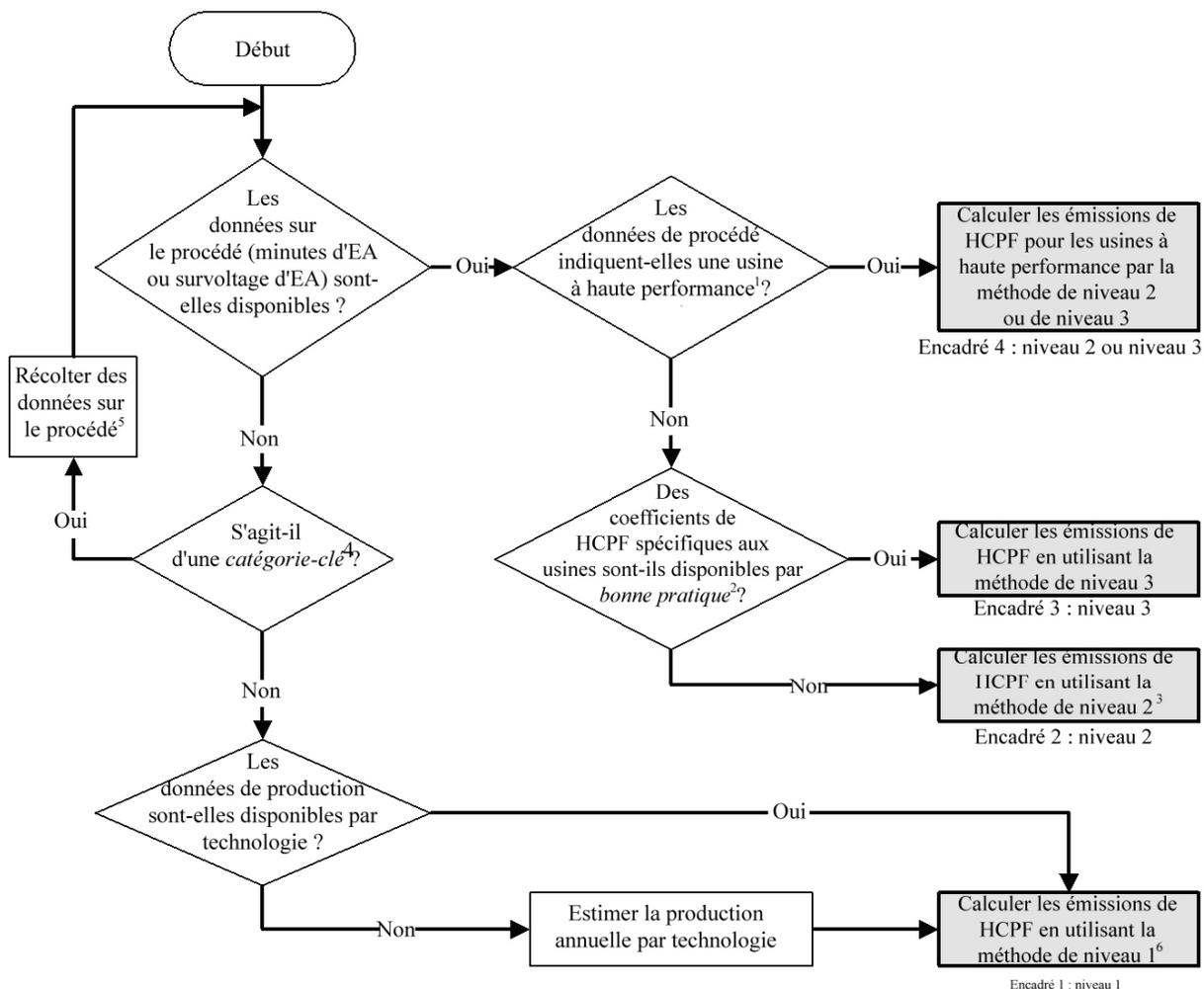
SEA = survoltage d'effet anode, mV

CE = rendement du courant de procédé de production d'aluminium exprimé, %(par ex. 95)

PM = production de métal, tonnes Al

$F_{C_2F_6/CF_4}$ = fraction de poids de C_2F_6/CF_4 , kg C_2F_6 /kg CF_4

Figure 4.12 Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de PFC de la production primaire d'aluminium



Note :

1. Les usines à haute performance produisent tellement peu de HCPF qu'aucune amélioration significative ne peut être attendue dans l'inventaire global de GES par l'utilisation de la méthode de niveau 3 plutôt que celle de niveau 2. Les usines à haute performance sont définies, suivant quelles informations de procédé ont pu être récoltées, comme celles opérant à moins de 0,2 minutes d'effort anode par jour par cuve, ou, moins de 1,4 mV de survolage. Dans de telles usines, l'amélioration de l'exactitude dans l'inventaire de GES d'usine est inférieure à 5% en passant du niveau 2 au niveau 3 pour les HCPF.
2. Les *bonnes pratiques* dans l'obtention de coefficients d'équation de HCPF spécifiques aux usines sont détaillées dans le protocole GES de l'IIA (IIA, 2005).
3. Dans ces cas-là, la méthode de niveau 2 devrait être utilisée jusqu'à ce que des coefficients de niveau 3 spécifiques aux usines deviennent disponibles et la méthode de niveau 3 est utilisée, sauf si les émissions de HCPF deviennent inexistantes, dans quel cas les usines peuvent choisir d'employer soit la méthode de niveau 2 ou celle de niveau 3.
4. Voir chapitre 4 du volume 1, choix méthodologiques et identification de catégories-clé (prendre note de la section 4.1.2 sur les ressources limitées), pour la discussion des *catégories-clé* et des diagrammes décisionnels.
5. Pour les catégories-clé, il est conforme aux bonnes pratiques de récolter des données de procédé sur l'effort anode et des données sur les activités de production au niveau des usines de production individuelles.
6. Les usines d'aluminium primaire enregistrent régulièrement des données sur les activités y compris la production de métal et des données de procédé sur l'effort anode, facilitant ainsi au moins la méthode de calcul de niveau 2. Des erreurs d'un facteur de 10x peuvent résulter de l'utilisation de la méthode de niveau 1 pour les HCPF.

4.4.2.4 CHOIX DES FACTEURS D'ÉMISSION POUR LES PFC :

Niveau 1 : Facteurs d'émission par défaut basés sur les technologies

Les facteurs d'émission par défaut pour la méthode de niveau 1 sont fournis dans le tableau 4.15.

Technologie	CF ₄		C ₂ F ₆	
	EF _{CF4} (kg/tonne Al) ^a	Plage d'incertitude (%) ^b	EF _{C2F6} (kg/tonne Al) ^c	Plage d'incertitude (%) ^d
PCTC	0,4	-99/+380	0,04	-99/+380
PCTL	1,6	-40/+150	0,4	-40/+150
SBV	0,8	-70/+260	0,04	-70/+260
SBH	0,4	-80/+180	0,03	-80/+180

^a Valeurs de CF₄ par défaut calculées depuis la performance médiane d'effet anode des données d'une étude de l'IIA de 1990 (IIA, 2001).
^b Incertitude basée sur la plage d'émissions spécifiques de CF₄ calculées par technologie à partir de données d'une étude de l'IIA de 1990 sur l'effet anode (IIA 2001).
^c Valeurs de C₂F₆ par défaut calculées à partir de rapports globaux de C₂F₆:CF₄ par technologie, multipliés par le facteur d'émission de CF₄ par défaut.
^d Plage d'incertitude calculée sur la moyenne globale de rapports C₂F₆:CF₄ par technologie, multipliée par les émissions spécifiques de CF₄ minimales et maximales calculées à partir de données d'une étude de l'IIA de 1990 (IIA, 2001).
 Note : Ces facteurs d'émission par défaut ne devraient être utilisés qu'en l'absence de données de niveaux 2 ou 3.

Niveau 2 : Facteur d'émission de PFC basé sur une relation spécifique aux technologies entre performance d'effet anode et émissions de PFC.

La méthode de niveau 2 est basée sur l'utilisation de coefficients de pente ou de survoltage spécifiques aux technologies pour la cuve de réduction et la technologie de contrôle de procédé applicables, comme listé dans le tableau 4.16.¹¹

Technologie ^a	Coefficient de pente ^{b, c} [(kg PFC/t _{Al}) / (Min d'EA/cuve-jour)]		Coefficient de survoltage ^{b, c, d} [(kg PFC/t _{Al}) / (mV)]		Fraction de poids C ₂ F ₆ / CF ₄	
	CF ₄	Incertainitude (+/-%)	CF ₄	Incertainitude (+/-%)	C ₂ F ₆ /CF ₄	Incertainitude (+/-%)
PCTC	0,143	6	1,16	24	0,121	11
PCTL	0,272	15	3,65	43	0,252	23
SBV	0,092	17	NP	NP	0,053	15
SBH	0,099	44	NP	NP	0,085	48

^a Pré-cuisson Travaillée Centralement (PCTC), Pré cuisson Travaillée Latéralement (PCTL), Søderberg à Broche Verticale (SBV) et Søderberg à Broche Horizontale (SBH).
^b Source : Mesures rapportées à l'IIA, mesures sponsorisées par l'APE des USA et mesures de multiples sites (APE des USA et IIA, 2003).
^c Incorporée dans chaque coefficient de pente et de survoltage, on trouve une efficacité supposée de la récolte d'émissions comme suit : PCTC 98%, PCTL 90%, SBV 85%, SBH 90%. Ces efficacités de récolte ont été supposées sur la base de fractions de récolte de PFC mesurées, d'efficacités mesurées de récolte de gaz fluorés et l'avis d'experts.
^d Les coefficients notés reflètent les mesures faites dans certaines usines enregistrant un survoltage positif et d'autres enregistrant un survoltage algébrique. Aucun rapport solide n'a encore été établi entre le survoltage positif et algébrique. Le survoltage positif devrait fournir une meilleure corrélation avec les émissions de PFC que le survoltage algébrique. Les coefficients de survoltage sont non pertinents (NP) pour les technologies de SBV et de SBH.

Niveau 3 : Facteur d'émission de PFC basé sur une relation spécifique aux usines entre performance d'effet anode et émissions de PFC.

La méthode de niveau 3 est basée sur une pente spécifique aux usines ou un coefficient de PFC de survoltage d'effet anode. Ce coefficient caractérise la relation entre la performance de l'effet anode d'une usine et les émissions de PFC mesurées au cours de mesures périodiques ou continues qui concordent avec les pratiques de mesure établies (APE des USA et IIA, 2003) et le Protocole de GEA de l'Institut International d'Aluminium (IIA, 2005a).

4.4.2.5 CHOIX DES DONNÉES SUR LES ACTIVITÉS

Les statistiques de production devraient être disponibles auprès de chaque usine afin de permettre l'utilisation de méthodes de niveau 1 pour les émissions de CO₂ et de PFC. L'incertitude dans les tonnes d'aluminium produites sera probablement basse dans la plupart des pays. Étant donné la disponibilité universelle attendue des données sur la production, les données sur la capacité de production ne devraient être utilisées que comme vérification des statistiques de production.

Les méthodes conformes aux *bonnes pratiques* nécessitent des données précises sur les minutes d'effet anode par cuve par jour ou sur le survoltage (SEA) pour tous les types de cuve. Les statistiques annuelles devraient être basées sur la moyenne pondérée par rapport à la production des données mensuelles d'effet anode. Les niveaux 2 et 3 utilisent tous deux les minutes d'effet anode par cuve par jour ou le SEA et les données de production d'aluminium. Des entreprises d'aluminium individuelles ou des groupes industriels, des associations nationales d'aluminium ou l'Institut International d'Aluminium devraient être consultés pour s'assurer que les données sont disponibles dans un format utilisable pour chaque estimation d'inventaire.

Pour les émissions de CO₂, tous les fondeurs d'aluminium récoltent des données permettant l'utilisation de méthodes de niveaux 2 ou 3. Les fondeurs de Søderberg récoltent des données sur la consommation de pâte d'anode alors que les fondeurs à pré cuisson enregistrent la consommation d'anode cuite. Les méthodes de niveaux 2 et 3 utilisent la même équation pour le calcul des émissions de CO₂, cependant, la méthode de niveau 3 utilise des données de composition spécifiques aux usines alors que la méthode de niveau 2 utilise des données moyennes sur la composition d'anode.

4.4.2.6 EXHAUSTIVITÉ

Les usines d'aluminium primaires auront généralement de bons registres des tonnes d'aluminium produites à travers l'intégralité de la série temporelle couverte par l'inventaire. De plus, les données de consommation de carbone sont typiquement disponibles au cours de la même période. Les données de procédé d'effet anode peuvent être incomplètes sur l'intégralité de la série temporelle et des mesures comme celles décrites dans la section 4.4.2.7 (Développement d'une série temporelle cohérente) pourraient s'avérer nécessaires pour calculer des émissions de PFC sur certaines portions de la période d'inventaire. La production primaire d'aluminium utilise aussi de grandes quantités d'électricité et il faut faire preuve d'attention afin d'éviter des omissions de dioxyde de carbone associées à l'entrée d'électricité, ou d'éviter le double comptage de ce dioxyde de carbone.

4.4.2.7 DÉVELOPPEMENT D'UNE SÉRIE TEMPORELLE COHÉRENTE

Les statistiques de production d'aluminium seront typiquement disponibles pour l'ensemble de l'historique de l'usine. Le développement d'une série temporelle cohérente pour les émissions de dioxyde de carbone ne devrait pas être un problème puisque la plupart des usines ont historiquement mesuré et enregistré leur consommation d'anode ou de pâte. Lorsque des données historiques sur la consommation d'anode ou de pâte font défaut, les émissions de CO₂ peuvent être estimées à partir de la production d'aluminium en utilisant la méthode de niveau 1.

Une série temporelle complète de données sur les activités liées aux PFC telles que les minutes d'effet anode par cuve par jour ou le survoltage donnent les meilleurs résultats de série temporelle. Puisque les émissions de PFC ne sont devenues un domaine de focalisation majeur pour l'industrie mondiale d'aluminium que depuis le début des années 1990, certaines usines pourraient avoir des informations limitées sur les données requises sur l'effet anode pour implémenter des pratiques d'inventaire de PFC de niveaux 2 ou 3 sur l'intégralité de la période couverte par l'inventaire. Des erreurs et des discontinuités conséquentes peuvent être introduites en revenant aux méthodes de niveau 1 pour les émissions de PFC, pour les années où les données sur les activités ne sont pas disponibles. La justesse de l'application de facteurs d'émission de niveaux 2 ou 3 sur le passé pour une usine donnée et la disponibilité de données de procédé précises variera avec les conditions spécifiques. En général, l'extrapolation rétroactive par des méthodes de niveaux 2 ou 3 en utilisant un raccordement ou des données de substitution sont préférables à l'utilisation de facteurs d'émission de niveau 1. Spécifiquement, lorsque sont

uniquement disponibles les données sur la fréquence de l'effet anode et que celles sur la durée de l'effet anode ne le sont pas, les bonnes pratiques recommandent de raccorder ou d'extrapoler rétroactivement les émissions de PFC par tonne d'aluminium basées sur les données de fréquence d'effet anode. Actuellement, beaucoup d'usines effectuent des mesures de PFC qui facilitent l'implémentation de méthodes d'inventaire de PFC de niveau 3. Il y a un grand nombre de problèmes qui impactent la possibilité d'extrapoler des facteurs d'émission de PFC de niveau 3 pour des périodes passées de l'inventaire. Les facteurs qui devraient être considérés incluent la prise en compte d'éventuelles mises à jour technologiques à l'usine, de changements conséquents dans les pratiques de travail, des changements dans le calcul de données de procédé sous-jacentes et la qualité des mesures effectuées afin d'établir les coefficients de niveau 3. Les bonnes pratiques recommandent de consulter auprès des représentants des usines opérantes, soit directement, soit au travers d'organisations régionales ou internationales représentant l'industrie, afin de développer la meilleure stratégie pour le groupe spécifique de sites opérants compris dans l'inventaire national. Des informations supplémentaires utiles sur des méthodes de raccordement et des détails regardant la construction d'une série temporelle pour l'aluminium primaire sont disponibles auprès de l'IIA (IIA, 2005). Les conseils d'experts sont aussi disponibles auprès de l'Institut International d'Aluminium (Londres, Royaume-Uni) concernant les émissions de gaz à effet de serre et les émissions industrielles typiques de la production d'aluminium.

4.4.3 Évaluation des incertitudes

Il existe des différences majeures dans l'incertitude pour les émissions de PFC suivant le choix de méthodes de niveaux 1, 2 ou 3. Les différences dans l'incertitude résultant du choix de méthode pour les émissions de CO₂ sont beaucoup plus petites que pour les émissions de PFC. Il n'y a aucune base pour les différences nationales ou régionales dans les émissions résultantes de la production d'aluminium hormis les différences résultantes du type spécifique de technologie de production et des pratiques de travail utilisées dans le pays ou la région. Ces différences sont reflétées dans les méthodologies de calcul décrites ci-dessus.

4.4.3.1 INCERTITUDES DES FACTEURS D'EMISSION

L'incertitude des facteurs d'émission pour le calcul d'émissions de CO₂ à partir de la consommation d'anodes de carbone ou de pâte devrait être inférieure à $\pm 5\%$ pour les méthodes de niveaux 2 et 3, et de moins de $\pm 10\%$ pour la méthode de niveau 1. Les réactions menant aux émissions de dioxyde de carbone sont bien comprises et les émissions sont très directement liées aux tonnes d'aluminium produites à travers les équations électrochimiques fondamentales pour la réduction d'alumine à une anode de carbone et l'oxydation de procédés thermiques. Ces deux procédés fondamentaux de production de dioxyde de carbone sont inclus dans les paramètres de procédé surveillés de façon routinière dans les usines de production, la consommation nette de carbone et/ou la celle de pâte. La source principale d'incertitudes est dans le carbone net consommé pour les technologies de pré cuisson et la consommation de pâte pour les cuves Sørderberg. Ces facteurs sont bien surveillés et importants pour la performance économique d'une usine. Des améliorations dans l'exactitude d'inventaires d'émissions de CO₂ peuvent être acquises en passant de méthodes de niveau 1 à d'autres de niveau 2 parce qu'il y a une plage de performance des usines de réduction dans la consommation de matériaux d'anodes de carbone. Moins d'améliorations significatives dans l'exactitude sont attendues lors du choix de la méthode de niveau 3 plutôt que de celle de niveau 2. Ceci est dû au fait que les facteurs majeurs dans le calcul sont la consommation nette d'anode de carbone ou la consommation de pâte et la production d'aluminium. L'incertitude de ces deux composantes de l'équation de calcul est basse, 2 à 5%, et ces incertitudes dominent le calcul d'ensemble des émissions de CO₂ dans les méthodes de niveaux 2 et 3. Les données spécifiques aux usines sont utilisées dans les calculs de niveaux 2 et 3 pour ces paramètres. La méthode de niveau 3 raffine le calcul pour utiliser la composition réelle des matériaux d'anodes de carbone. Alors qu'il peut y avoir une variabilité considérable dans les composantes mineures des matériaux d'anodes, elle ne contribue pas significativement au calcul d'ensemble des émissions de CO₂.

Dans la prise en compte des changements d'incertitudes de l'inventaire d'émissions de PFC lors de la migration de méthodes de niveau 2 à des méthodes de niveaux 2 et 3, il y a des réductions majeures dans l'incertitude lors du choix de méthodes de niveaux 2 et 3 plutôt que la méthode de niveau 1. Le haut niveau d'incertitude de la méthode de niveau 1 découle directement de la grande variabilité de la performance de l'effet anode entre les opérateurs employant la même technologie de production. La méthode de niveau 1 est basée sur l'utilisation d'un seul coefficient par défaut pour tous les opérateurs par type de technologie. Comme il peut y avoir des variations dans la performance d'effet anode (fréquence et durée) par des facteurs de 10 entre les opérateurs utilisant la même technologie (IIA, 2005c), l'utilisation de la méthode de niveau 1 peut résulter dans des incertitudes de la

même magnitude. Il y a moins d'impact sur les niveaux d'incertitude lors du choix de la méthode de niveau 3 plutôt que de celle de niveau 2; toutefois, la réduction du niveau d'incertitude dépend du type de technologie de cuve. L'incertitude pour les coefficients moyens de l'industrie varient entre +/-6% pour les PCTC, la technologie la plus utilisée et la plus mesurée, à +/-44 pour les SBH. Les niveaux 2 et 3 sont tous deux basés sur des mesures de PFC directes qui établissent un rapport entre la performance de l'effet anode et les émissions spécifiques de PFC. La méthode de niveau 2 utilise un coefficient d'équation moyen pour l'industrie alors que la méthode de niveau 3 utilise un coefficient spécifique aux usines basé sur des mesures directes de PFC effectuées à l'usine. Plus on effectue de mesures d'usine, surtout dans les usines travaillant avec des technologies Söderberg, plus l'incertitude des coefficients moyens devrait être réduite. L'incertitude la plus basse pour les calculs d'émissions de PFC provient de l'utilisation de la méthode de niveau 3. Toutefois, pour atteindre cette basse incertitude dans les calculs de PFC de niveau 3, il est important de faire usage de *bonnes pratiques* dans les prises de mesures de PFC spécifiques aux usines. Ces *bonnes pratiques* de mesures ont été établies et documentées dans un protocole disponible mondialement (APE des USA/IIA, 2003). Lorsque bien établis, ces coefficients de niveau 3 auront une incertitude de +/-15% au moment de leur mesure.

4.4.3.2 INCERTITUDES DES DONNEES SUR LES ACTIVITES

Il y a très peu d'incertitude dans les données sur la production annuelle d'aluminium, moins de 1 %. L'incertitude dans l'enregistrement de la consommation de carbone sous forme de consommation d'anodes cuites ou de consommation de coke ou de pâte est estimée comme étant seulement légèrement supérieure à celle de la production d'aluminium, moins de 2%. L'autre composante des émissions calculées spécifiques aux usines par les méthodes de niveaux 2 ou 3 est les données sur l'activité de l'effet anode, à savoir soit les minutes d'effet anode par cuve par jour, soit le survoltage de l'effet anode. Ces paramètres sont typiquement enregistrés par le système de contrôle de procédé comme partie des opérations de quasiment toutes les usines de production d'aluminium et les incertitudes des ces données sont basses.

4.4.4 Assurance qualité / contrôle qualité (AQ/CQ), établissement de rapports et documentation

4.4.4.1 ASSURANCE QUALITE / CONTROLE QUALITE (AQ/CQ)

Les bonnes pratiques recommandent de toute usine de production d'aluminium de maintenir des registres de toute donnée sur les activités pouvant soutenir les calculs de facteur d'émission, comme suggéré dans ces directives. Ces registres incluront la production d'aluminium, la performance de l'effet anode et la consommation de matériaux carboniques utilisés dans les cuves à pré cuisson ou Söderberg. De plus, l'Institut International d'Aluminium tient des résumés globaux de données sur les activités agrégées pour les mêmes paramètres et des données régionales sont disponibles auprès des associations régionales d'aluminium. Les bonnes pratiques recommandent d'agréger les estimations d'émissions de chaque fondeur et d'estimer les émissions nationales totales. Toutefois, si des données sur la production au niveau des fondeurs ne sont pas disponibles, des données sur la capacité du fondeur peuvent être utilisées avec la production nationale agrégée pour estimer la production du fondeur.

Les bonnes pratiques recommandent de vérifier les facteurs d'émission de CO₂ d'une usine par tonne d'aluminium en comparaison avec la plage de variation attendue prévisible à partir de la variation notée dans les tableaux 4.10 et 4.11 pour les émissions spécifiques de CO₂. De même, les coefficients d'équation sous-jacents utilisés pour calculer les facteurs d'émission de PFC par tonne d'aluminium devraient être comparés avec ceux notés dans le tableau 4.15. Il est suggéré qu'une quelconque valeur d'inventaire en dehors de l'intervalle de confiance de 95% de la variance de la population de données soit confirmée avec les données de source.

L'emploi de méthodes de mesure type améliore la cohérence des résultats et la compréhension des caractéristiques statistiques des données. Pour l'aluminium primaire, le Protocole de Mesure d'Émissions de Tetrafluorométhane (CF₄) et d'Hexafluoroéthane (C₂F₆) de la Production Primaire d'Aluminium de l'APE/IIA est le standard internationalement reconnu (APE des USA et IIA, 2003). Les compilateurs d'inventaire devraient encourager les usines à utiliser cette méthode pour le développement de coefficients d'équation de PFC de niveau 3. Des différences significatives entre des coefficients calculés basés sur des mesures de PFC et les coefficients moyens de niveau 2 de l'industrie pour une même technologie de diminution devrait éliciter une révision supplémentaire et des vérifications des calculs. De grandes différences devraient être expliquées et documentées. Un ensemble international de données sur la performance d'effet anode, pouvant être utilisé pour identifier des données aberrantes, est disponible auprès de l'Institut International d'Aluminium. De plus, un base

de données à jour des mesures de PFC est aussi maintenue par l'IIA et devrait être consultée lors de l'évaluation de la justesse de données rapportées.

Des changements interannuels dans les émissions de CO₂ par tonne d'aluminium ne devraient pas dépasser +/- 10% sur la base de la cohérence des procédés sous-jacents produisant du CO₂. Par opposition, des changements interannuels dans les émissions de PFC par tonne d'aluminium peuvent varier avec des valeurs allant jusqu'à +/- 100%. Des augmentations dans les émissions spécifiques de PFC peuvent découler d'une instabilité de procédé. Des augmentations de la fréquence et de la durée de l'effet anode peuvent être le résultat de facteurs tels que des interruptions inattendues de puissance, des changements de source de matériaux d'alimentation d'alumine, des problèmes opératoires des cuves et des augmentations dans l'ampérage des lignes de cuves afin d'augmenter la production d'aluminium. Des diminutions dans les émissions spécifiques de PFC peuvent résulter de la diminution de la fréquence et de la durée de l'effet anode dû à des changements dans les algorithmes informatiques utilisés dans le contrôle de procédé de cuves, de mises à jour des technologies de cuve telles que l'installation de dispositifs d'alimentation ponctuelle, de pratiques de travail améliorées et d'un meilleur contrôle des matières premières.

4.4.4.2 ÉTABLISSEMENT DE RAPPORTS ET DOCUMENTATION

Les bonnes pratiques recommandent de documenter et d'archiver toute l'information requise pour produire les estimations d'inventaire d'émissions nationales, comme souligné dans le chapitre 6 du volume 1, assurance qualité et contrôle qualité, documentation et archivage internes. Quelques exemples de documentation spécifique et d'établissement de rapports pertinents pour cette catégorie source sont fournis ci-dessous.

Il n'est guère pratique d'inclure toute la documentation dans le rapport d'inventaire national. Cependant, l'inventaire devrait inclure des résumés des méthodes utilisées et des références à des données source de sorte que les estimations d'émissions rapportées soient transparentes et que les étapes de leur calcul puissent être retracées. Pour améliorer la transparence, les bonnes pratiques recommandent de rapporter des émissions de PFC de la production d'aluminium séparément des autres catégories de source. De plus, les *bonnes pratiques* recommandent de rapporter séparément les émissions de CF₄ et de C₂F₆ sur une *base massique*.

L'information de support nécessaire pour assurer la transparence dans les estimations d'émissions rapportées est montrée dans le tableau 4.17, *Bonnes pratiques* dans le rapport d'informations pour les émissions de PFC de la production d'aluminium par niveau, ci-dessous.

Une grande partie des données sur la production et sur les procédés est considérée comme propriétaire aux opérateurs, surtout lorsqu'il n'y a qu'un fondeur dans un pays. Les bonnes pratiques recommandent d'appliquer les techniques appropriées, y compris l'agrégation de données, afin d'assurer la protection de données confidentielles.

TABLEAU 4.17 BONNES PRATIQUES DANS LE RAPPORT D'INFORMATIONS POUR CALCULER LES ÉMISSIONS DE CO ₂ ET DE PFC DE LA PRODUCTION D'ALUMINIUM PAR NIVEAU			
Données	Niveau	Niveau	Niveau

	3	2	1
PFC			
Production nationale annuelle (par technologie de PCTC, PCTL, SBH ou SBV)			X
Production annuelle par fondeur (par technologie de PCTC, PCTL, SBH ou SBV)	X	X	
Minutes d'effet anode par cuve par jour ou survoltage d'effet anode (mV)	X	X	
Coefficients d'émission spécifiques aux usines liés à la performance de l'effet anode	X		
Coefficients d'émission spécifiques aux technologies liés à la performance de l'effet anode		X	
Coefficients d'émission de technologie par défaut			X
Documentation de support	X	X	X
CO₂			
Production nationale annuelle (par technologie de pré cuisson ou Søderberg)			X
Production nationale annuelle par fondeur (par technologie de pré cuisson ou Søderberg)	X	X	
Consommation nette d'anodes pour cuves à pré cuisson ou consommation de pâte pour cuves Søderberg	X	X	
Niveaux d'impureté de matériaux carboniques et poussière de carbone pour cuves Søderberg	X		

4.5 PRODUCTION DE MAGNÉSIUM

4.5.1 Introduction

Dans l'industrie du magnésium, il y a un nombre de sources d'émissions et de gaz potentielles. La quantité et le type d'émission de l'industrie du magnésium refléteront la matière première utilisée pour la production de métal de magnésium primaire et/ou le type de mélange de gaz de couverture utilisé dans le moulage et les fonderies de recyclage pour empêcher l'oxydation de magnésium fondu. Les bonnes pratiques recommandent de considérer, de manière désagrégée si possible, tous les segments de l'industrie du magnésium et leurs émissions relatives. Une liste des émissions de gaz à effet de serre possibles, pouvant être associée aux opérations de production et de moulage de métal de magnésium primaire et secondaire, est fournie dans le tableau 4.18.

Le magnésium primaire fait référence au magnésium dérivé de sources minérales. Le magnésium primaire peut être produit soit par électrolyse, soit par un procédé de réduction thermique. Les matières premières utilisées pour la production de magnésium primaire sont la dolomite, la magnésite, la carnallite, la serpentine, les saumures ou l'eau de mer. Le traitement de matières premières carboniques (magnésite et dolomite) relâchera du CO₂ pendant la fabrication. Le CO₂ est relâché pendant la calcination de minerais à base de carbonate (dolomite/magnésite) – une étape de « prétraitement » au procédé principal de réduction électrolytique/thermique. Le procédé est similaire à la génération de CO₂ dans l'industrie minière (voir chapitre 2).

La production de magnésium secondaire comprend la récupération et le recyclage de magnésium métallique d'une variété de matériaux de ferraille contenant du magnésium, par ex. des pièces post consommateur, des chutes de machines de découpage ou de moulage, de résidus de fours, etc. Les procédés de moulage de magnésium pourraient impliquer du métal issu de production de magnésium à la fois primaire et secondaire. Les procédés de moulage de magnésium impliquent la manipulation de magnésium pur fondu et/ou d'alliages à haut contenu en magnésium fondus. Le magnésium fondu (sous-entendu également les alliages à haut contenu en magnésium) peut être moulé par une variété de méthodes y compris le moulage par gravité, le moulage en sable, le moulage sous pression et d'autres encore.

Tout magnésium brûle spontanément en présence d'oxygène atmosphérique. La production et le moulage de tout métal de magnésium nécessitent un système de protection pour éviter la combustion. Parmi les divers systèmes de protection communément utilisés, on en trouve qui utilisent des composantes gazeuses à hautes valeurs de PRG, tel que le SF₆ qui s'échappe typiquement dans l'atmosphère. Le moulage de magnésium métallique par les divers procédés et sources nécessite toujours des méthodes de protection et aura de ce fait des émissions potentielles de GES similaires.

TABLEAU 4.18				
ÉMISSIONS DE GES POSSIBLES LIÉES À LA PRODUCTION ET AU TRAITEMENT DU MAGNÉSIUM				
PROCÉDÉ	ÉMISSION POTENTIELLE DE GES ASSOCIÉ AU PROCÉDÉ			
	<i>SF₆</i>	<i>PFC</i>	<i>CO₂</i>	<i>Autres*</i>
Préparation des matières premières pour la production primaire				
À base de dolomite/magnésite	-	-	X	-
Autres matières premières	-	-	-	-
Moulage (primaire & secondaire)				
Moulage de lingots primaires	X	X	X	X
Moulage sous pression	X	X	X	X
Moulage par gravité	X	X	X	X
Autres méthodes de moulage	X	X	X	X
Production de Mg secondaire**	X	X	X	X
*Autres comprend le cétone fluoré et divers produits fluorés de décomposition, par ex. les PFC				
**Comprend les procédés impliquant le recyclage/la récupération de magnésium métallique.				

La production, le traitement, la fusion et le moulage de métal fondu de magnésium secondaire (recyclage) est protégé contre l'oxydation au travers du procédé en utilisant des systèmes de protection tels que des gaz de couverture contenant du SF₆ ou le SO₂ (un gaz porteur (communément de l'air et/ou du CO₂) et du SF₆ ou du SO₂¹²) ou, dans certains cas, du gaz de fluxage. Les alliages à haut contenu de magnésium sont aussi communément protégés en utilisant des gaz de couverture contenant du SF₆. Dû à des développements

technologiques récents et un bond en avant dans le remplacement du SF₆, l'industrie du magnésium a introduit des gaz de couverture alternatifs. Il est prévu que les deux alternatives les plus communes au SF₆ dans la prochaine décennie seront l'hydrocarbure fluoré HFC-134a et le cétone fluoré FK 5-1-12 (C₃F₇C(O)C₂F₅), commercialisé sous le nom de NovecTM612¹³, et que les choix des producteurs/traitants individuels de magnésium quand au choix de gaz de couverture sera fortement influencé par les circonstances nationales (Tranell *et al.*, 2004).

ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION PRIMAIRE

Comme indiqué dans le tableau 4.18, les minerais contenant du magnésium qui relâchent du CO₂ pendant la calcination sont la dolomite (Mg·Ca(CO₃)₂) et la magnésite (MgCO₃). Pour chaque kilogramme de magnésium produit, 3,62 kg¹⁴ (dolomite) ou 1.81 kg (magnésite) de CO₂ sont respectivement émis durant la calcination. Les émissions réelles de CO₂ par kilogramme de magnésium produit seront plus élevées que l'émission réelle dû aux pertes de magnésium dans la chaîne de procédé.

PROCÉDÉS DE MOULAGE DE MAGNÉSIIUM (PRIMAIRE & SECONDAIRE)

Dans les procédés de moulage de magnésium, la taille et le type d'émission de GES dépendront du système gaz de couverture choisi pour protéger le magnésium liquide. En plus des émissions du composé actif de protection (SF₆, HFC-134a ou FK 5-1-12) dans le gaz de couverture lui-même – il peut y avoir des émissions de divers produits fluorés de décomposition (par ex. des PFC) et potentiellement du gaz porteur (suivant le choix d'air et/ou de CO₂ ou de N₂).

SF₆

Il a été communément supposé que le SF₆ dans le gaz de couverture du magnésium est inerte et que, de ce fait, la majorité du SF₆ utilisé dans l'industrie du magnésium sera émis. Toutefois, des études indépendantes récentes (Bartos *et al.*, 2003 et Tranell *et al.*, 2004) démontrent que le SF₆ se détruit, à un certain degré, au contact du magnésium liquide/gazeux à des températures communes d'entreposage/de traitement. La fraction de SF₆ détruite dans le four, ainsi que le type/la quantité de produits de gaz secondaire générés par la réaction avec le magnésium, dépendra de conditions opératoires telles que la concentration de SF₆ dans le gaz de couverture, le taux de flux du gaz de couverture, la taille de la surface de magnésium réactive, le type de gaz porteur utilisé, les pratiques de chargement de four, etc.

HFC-134a, FK 5-1-12 et produits de décomposition (par ex., PFC)

À la fois le HFC-134a et le FK 5-1-12 sont moins stables thermo dynamiquement (et ont donc un PRG bien plus bas) que le SF₆. Il est donc attendu que ces gaz se décomposent/réagissent extensivement au contact du magnésium liquide/solide, menant à la production de divers gaz fluorés (par ex., PFC). Tranell *et al.*, 2004 a constaté qu'en règle générale, quand le SF₆ est remplacé par du HFC-134a, moins de la moitié du composé fluoré actif sur une base molaire est requise pour protéger une surface donnée de magnésium (dans des conditions autrement identiques). Quand le SF₆ remplace le FK 5-1-12, moins d'un quart de la quantité de composé actif est nécessaire. Il a été rapporté que, comme il est le cas pour le SF₆, la quantité de composé actif dans le gaz de couverture entrant détruite dans le four dépend de conditions telles que la concentration en composé du gaz de couverture entrant, le taux de flux total du gaz de couverture, la taille de la surface réactive de magnésium, le type de gaz porteur utilisé, les pratiques de chargement etc. Il devrait être relevé que les émissions de PFC comme produits de décomposition seraient plus significatives en termes de CO₂ équivalent que les émissions de FK 5-1-12, étant donné leurs effets radiatifs respectifs¹⁵.

Gaz porteurs

Beaucoup de systèmes de gaz porteurs utilisent le CO₂ comme gaz porteur – seul ou en combinaison avec de l'air sec – pour diluer le composé fluoré actif et réduire la pression partielle d'oxygène dans le four. C'est une supposition quantitativement raisonnable que de dire que tout le CO₂ utilisé dans le gaz de couverture est émis comme CO₂. La quantité de gaz de couverture CO₂ utilisée est bien inférieure à celle des agents actifs habituels dans le système de gaz de couverture et peut généralement être ignorée.

4.5.2 Questions méthodologiques

4.5.2.1 CHOIX DE LA MÉTHODE

ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION PRIMAIRE

Le choix d'une méthode de *bonne pratique* pour la préparation d'un inventaire d'émissions de CO₂ du segment de la production de magnésium primaire (matière première) dépendra des circonstances nationales. Le diagramme décisionnel (voir figure 4.13, Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de CO₂ de la production de magnésium primaire) décrit des *bonnes pratiques* dans l'adaptation des méthodes à ces circonstances spécifiques aux pays.

Niveau 1

La méthode de niveau 1 dépend de données de production primaire nationales et la connaissance des matières premières utilisées dans le pays. Les données de production nationales peuvent ne pas être disponibles au public comme il n'y a qu'un nombre limité de pays produisant du magnésium et seulement quelques producteurs – souvent un seul par pays – résultant souvent en la désignation des données de production nationales comme confidentielles. En l'absence de statistiques nationales sur la production de magnésium primaire, des associations industrielles, telles que l'Association Internationale de Magnésium (<http://www.intlmag.org/>), pourraient fournir des statistiques régionales. En l'absence d'autres données, il pourrait être possible d'estimer la production de magnésium primaire à partir des ventes nationales annuelles de métal de magnésium. Cette méthode comporte une incertitude accrue, puisqu'elle ne tient pas compte du magnésium utilisé dans la fabrication nationale de produits.

Les émissions totales de CO₂ sont calculées en utilisant l'équation 4.28.

ÉQUATION 4.8
ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION DE MAGNÉSIUM PRIMAIRE (NIVEAU 1)

$$E_{CO_2} = (P_d \cdot EF_d + P_{mg} \cdot EF_{mg}) \cdot 10^{-3}$$

Où :

E_{CO_2} = émissions de CO₂ de la production de magnésium primaire, Gg

P_d = production nationale de magnésium primaire à partir de dolomite, tonnes

P_{mg} = production nationale de magnésium primaire à partir de dolomite, tonnes

EF_d = facteur d'émission par défaut pour les émissions de CO₂ de la production de magnésium primaire à partir de dolomite, tonnes CO₂/tonne de Mg primaire produite

EF_{mg} = facteur d'émission par défaut pour les émissions de CO₂ de la production de magnésium primaire à partir de magnésite, tonnes CO₂/tonne de Mg primaire produite

Niveau 2

La méthode de niveau 2 pour déterminer les émissions de CO₂ du magnésium primaire implique la récolte de facteurs d'émission empiriques spécifiques aux entreprises/usines, en plus de données de production spécifiques aux entreprises. Les facteurs d'émission spécifiques aux entreprises peuvent différer considérablement des facteurs d'émission par défaut suivant la manipulation des matériaux de procédé. Cette récolte devrait se faire si les émissions sont une *catégorie clé*.

Les émissions totales de CO₂ sont calculées en utilisant l'équation 4.29.

ÉQUATION 4.29
ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION DE MAGNÉSIUM PRIMAIRE (NIVEAU 2)

$$E_{CO_2} = \sum_i (P_i \cdot FE_i) \cdot 10^{-3}$$

Où :

E_{CO_2} = émissions de CO₂ de la production de magnésium primaire, Gg

P_i = magnésium primaire produit à l'usine i , tonnes

FE_i = facteur d'émission spécifique à l'entreprise/usine pour les émissions de CO₂ de la production de magnésium primaire de l'entreprise/usine i , tonnes CO₂/tonne de Mg primaire produite

Niveau 3

Si des données réelles de mesures d'émissions de CO₂ sont disponibles auprès d'usines individuelles de magnésium primaire, elles peuvent être agrégées pour être comptabilisées dans les émissions nationales de CO₂.

PROCÉDÉS DE MOULAGE DE MAGNÉSIUM (PRIMAIRE & SECONDAIRE)

SF₆

Le choix d'une méthode de *bonne pratique* pour la préparation d'un inventaire d'émissions de SF₆ du segment des procédés de moulage de magnésium dépendra aussi des circonstances nationales. Le diagramme décisionnel (figure 4.14, « Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de SF₆ du traitement du magnésium ») décrit des *bonnes pratiques* dans l'adaptation des méthodes à ces circonstances spécifiques aux pays.

Niveau 1 - facteurs d'émission par défaut

La méthode de niveau 1 est basée sur la quantité totale de moulage ou de manipulation de magnésium dans le pays (équation 4.30). La supposition sous-jacente pour l'approche de niveau 1 est que toute la consommation de SF₆ dans le segment de l'industrie du magnésium est émise sous forme de SF₆. Comme décrit dans la section 4.5.1, cette supposition surestimera potentiellement les émissions de GES, mais la surestimation tombera dans les plages d'incertitudes globales données dans la section 4.5.3. La méthode de base de niveau 1 utilise une seule valeur comme base pour le calcul d'émissions par défaut quand le SF₆ est utilisé pour la protection contre l'oxydation, malgré le fait que la consommation de SF₆ varie considérablement entre les différentes opérations de moulage et les opérateurs (parfois des ordres de magnitude). La méthode de niveau 1 devrait être utilisée uniquement lorsque le compilateur d'inventaire n'a aucune connaissance du type de manipulation de magnésium ou de l'opération de moulage (recyclage, moulage de billettes ou moulage sous pression, etc.).

ÉQUATION 4.30
ÉMISSIONS DE SF₆ DU MOULAGE DE MAGNÉSIUM (NIVEAU 1)

$$E_{SF_6} = MGc \cdot EF_{SF_6} \cdot 10^{-3}$$

Où :

E_{SF_6} = émissions de SF₆ du moulage de magnésium, tonnes

MGc = quantité totale de moulage ou de manipulation de magnésium dans le pays, tonnes

EF_{SF_6} = facteur d'émission par défaut pour les émissions de SF₆ du moulage de magnésium, kg SF₆/tonne de moulage de Mg

Niveau 2 – consommation de SF₆ spécifique aux entreprises

Comme pour la méthode de niveau 1, la méthode de niveau 2 suppose aussi que tout le SF₆ consommé est ensuite émis. Au lieu de la quantité de moulage de magnésium, toutefois, la méthode de niveau 2 utilise des données sur la consommation nationale (ou sous nationale) de SF₆ dans l'industrie du magnésium comme rapportée par l'industrie ou disponible à travers d'autres sources telles que des statistiques nationales (équation 4.31).

L'application la plus exacte de la méthode est la récolte de données directes sur la consommation de SF₆ de tous les usagers individuels du gaz dans l'industrie du magnésium. Si aucune donnée directe n'est disponible, une méthode alternative, mais moins exacte, est d'estimer la part de consommation annuelle de SF₆ attribuable à l'industrie du magnésium. Ceci requiert la récolte de données annuelles sur les ventes nationales de SF₆ et suppose que tout le gaz SF₆ vendu à l'industrie du magnésium est émis durant l'année en cours.

ÉQUATION 4.31
ÉMISSIONS DE SF₆ DU MOULAGE DE MAGNÉSIUM (NIVEAU 2)

$$E_{SF_6} = C_{SF_6}$$

Où :

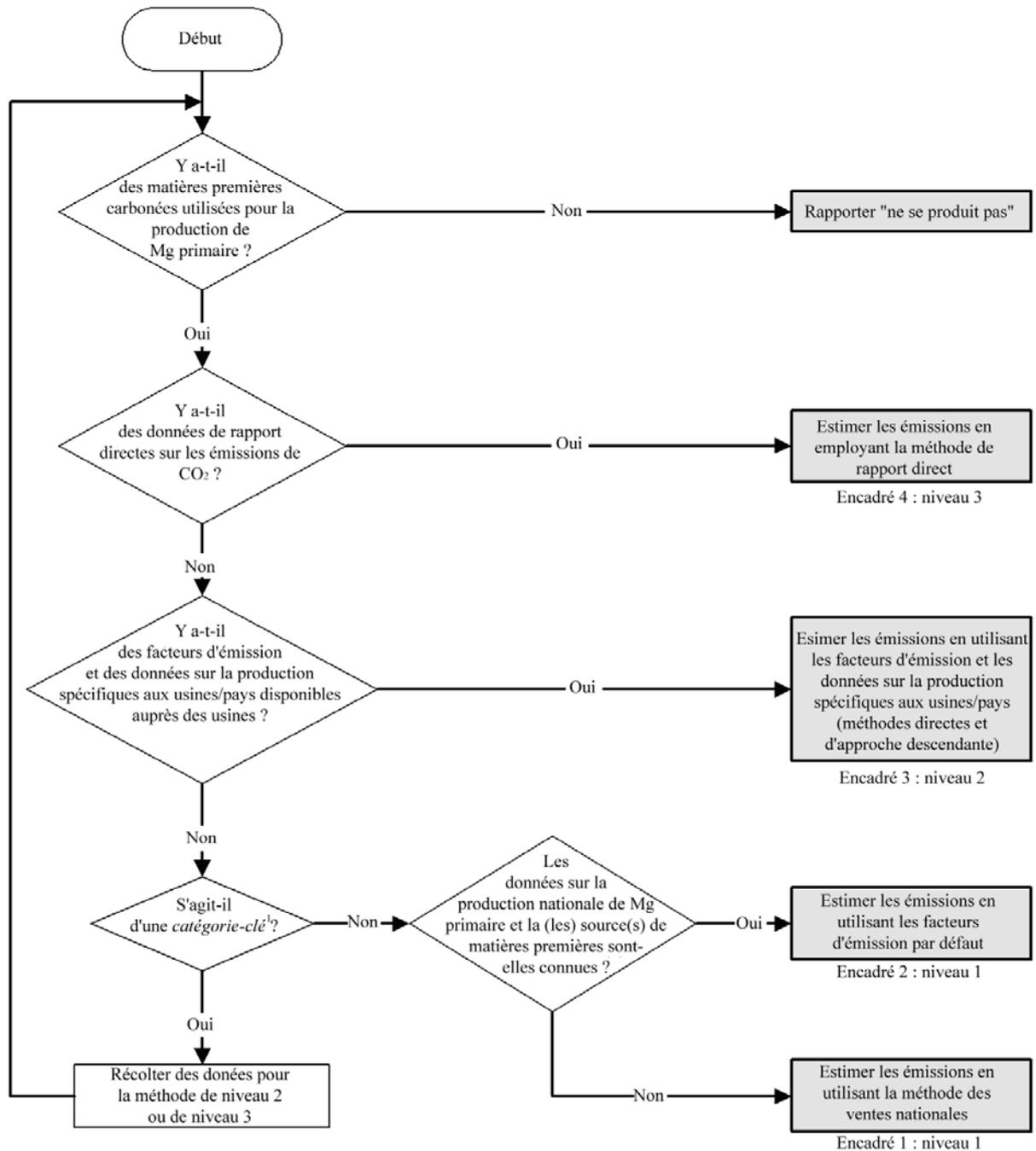
E_{SF_6} = émissions de SF₆ du moulage de magnésium, tonnes

C_{SF_6} = consommation de SF₆ dans des fondeurs de magnésium et de fonderies, tonnes

Méthode de niveau 3 – approche par mesure directe

Si des données réelles de mesures d'émissions sont disponibles auprès d'usines individuelles de traitement de magnésium, elles peuvent être agrégées pour être comptabilisées dans les émissions nationales. Dans un tel établissement de rapport, les bonnes pratiques recommandent d'inclure la destruction du SF₆ et la formation de produits gazeux secondaires.

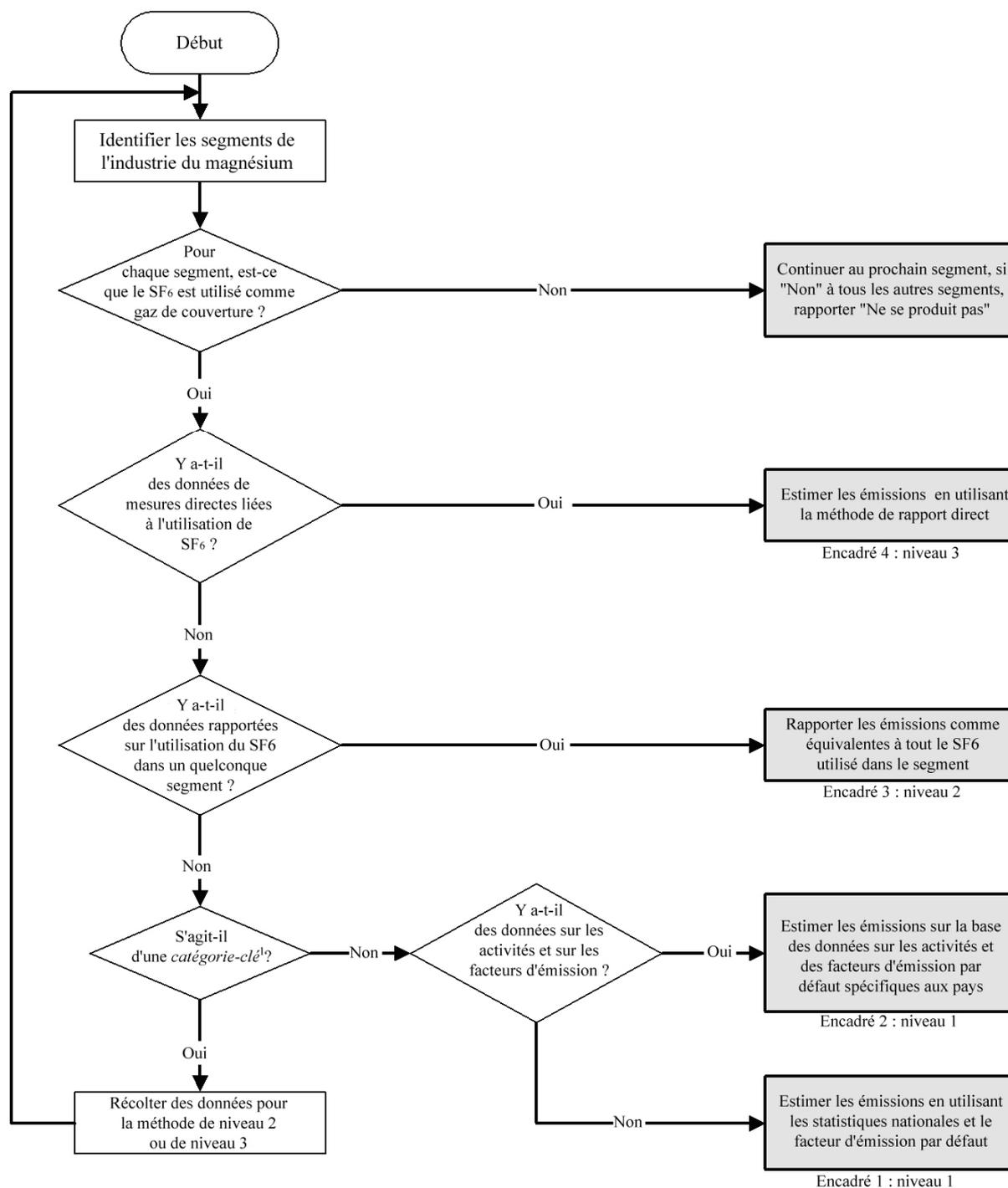
Figure 4.13 Diagramme décisionnel pour l'estimation des émissions de CO₂ de la calcination de matières premières dans le procédé de production du magnésium primaire



Note :

1. Voir chapitre 4 du volume 1, Choix méthodologiques et identification des catégories-clé (noter la section 4.1.2 sur les ressources limitées), pour la discussion des *catégories-clé* et de l'utilisation des diagrammes décisionnels.

Figure 4.14 Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de SF₆ du traitement du magnésium



Note :

1. Voir chapitre 4 du volume 1, choix méthodologiques et identification de catégories-clé (prendre note de la section 4.1.2 sur les ressources limitées), pour la discussion des *catégories-clé* et de l'utilisation de diagrammes décisionnels.

HFC-134a, FK 5-1-12 et produits de décomposition (par ex., PFC)

Comme décrit dans la section 4.5.1, l'utilisation industrielle de composés fluorés autres que le SF₆ pour la protection contre l'oxydation du magnésium a débuté en 2003-2004. En tant que telle, l'expérience industrielle dans l'utilisation de ces composés dans le but de protéger le magnésium est encore très limitée. Même des usines individuelles auront peu de données historiques, s'il en est, sur des émissions réelles de ces autres composés fluorés de leurs opérations. Alors qu'il y a un sentiment général dans l'industrie que le volume utilisé de ces gaz alternatifs sera inférieur à celui du SF₆, il n'y a pas de données disponibles pour l'heure sur lesquelles baser des

facteurs d'émission. De ce fait, il est pour le moment impossible de développer une approche basée sur un facteur d'émission (niveaux 1 et 2) pour rapporter des émissions.

Toutefois, si l'émission de GES de l'utilisation de gaz de couverture de magnésium est une *catégorie clé* nationale, les bonnes pratiques recommandent de récolter des mesures directes ou des mesures indirectes significatives des émissions de GES (émissions fugitives de HFC-134a et de FK 5-1-12 aussi bien que des émissions de PFC comme produits de décomposition) auprès de fonderies de magnésium employant le HFC-134a ou le FK 5-1-12 comme gaz de couverture. Ceci est cohérent avec l'approche de niveau 3.

Gaz porteurs

La contribution du gaz porteur CO₂ utilisé dans les systèmes de gaz de couverture protectrice est normalement une petite fraction du potentiel de réchauffement planétaire. En général, ces émissions peuvent être ignorées.

4.5.2.2 CHOIX DES FACTEURS D'ÉMISSION

ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION PRIMAIRE

Niveau 1 - facteurs d'émission par défaut

Comme mentionné auparavant, la méthode de niveau 1 calcule les émissions à partir de facteurs d'émission par défaut appliqués à la production totale de magnésium primaire d'un pays. Les facteurs d'émission par défaut (tableau 4.19) tiennent compte du type de matériau utilisé et de rapports stoechiométriques de base qui ont été ajustés par des données empiriques sur les pertes dans les procédés de fabrication générique. L'émission résultante de CO₂ par tonne de magnésium produite est considérablement plus élevée que le volume théorique décrit dans la section 4.5.1.

TABLEAU 4.19 FACTEURS D'ÉMISSION POUR LA PRODUCTION DE MÉTAL DE MG PRIMAIRE SPÉCIFIQUE AUX MINÉRAIS	
Matière première	tonnes de CO ₂ / tonne de Mg primaire produite
Dolomite	5,13
Magnésite	2,83

Niveau 2 – facteurs d'émission spécifique aux pays/entreprises

La méthode de niveau 2 pour estimer les émissions de CO₂ du magnésium primaire implique la récolte de facteurs d'émission empiriques spécifiques aux entreprises/usines. Les facteurs d'émission spécifiques aux entreprises peuvent différer considérablement des facteurs d'émission par défaut suivant la manipulation des matériaux de procédé. Cette récolte devrait se faire si les émissions sont une *catégorie clé*.

Méthode de niveau 3 – approche par mesure directe

Si des données réelles de mesures d'émissions de CO₂ sont disponibles auprès d'usines individuelles de magnésium primaire, elles peuvent être agrégées pour être comptabilisées dans les émissions nationales de CO₂.

PROCÉDÉS DE MOULAGE DE MAGNÉSIUM (PRIMAIRE & SECONDAIRE)

SF₆

Niveau 1 - facteurs d'émission par défaut

La supposition sous-jacente pour l'approche de niveau 1 est que toute la consommation de SF₆ de ce segment d'industrie est émise, alors que, comme décrit dans la section 4.5.1, cette supposition surestimera potentiellement les émissions de GES. La méthode de niveau 1 suppose aussi aucune connaissance du type de manipulation ou de moulage (recyclage, moulage de billette ou moulage sous pression, etc.) du magnésium. Dans des conditions recommandées de moulage sous pression, les taux de consommation sont d'environ 1 kg de SF₆ par tonne de magnésium produite ou fondue (Gjestland et Magers, 1996). Bien que la consommation de SF₆ varie considérablement entre différentes opérations et opérateurs de moulage (parfois des ordres de magnitude), la méthode de base de niveau 1 utilise cette valeur comme base pour le calcul des émissions par défaut lorsque le

SF₆ est utilisé pour la protection contre l'oxydation. Si les procédés nationaux de fabrication de magnésium sont bien documentés, une application plus exacte de la méthode de niveau 1 est de désagréger les données de production et les facteurs d'émission suivant les différents procédés de production. Ces facteurs d'émission devraient relier les émissions de SF₆ à la production de magnésium au même niveau de désagrégation que les données sur les activités disponibles (par ex. national, sous national). Les facteurs d'émission basés sur des mesures d'usine sont préférés aux facteurs internationaux par défaut parce qu'ils reflètent des conditions spécifiques au pays. De telles informations peuvent être accessibles à travers des associations industrielles, des sondages ou des études.

TABLEAU 4.20 FACTEURS D'ÉMISSION DE SF₆ DES PROCÉDÉS DE MOULAGE DU MAGNÉSIUM (NIVEAU 1)	
Système de moulage	kg d'émissions de SF₆ par tonne de moulage de Mg
Tous procédés de moulage	1,0
Source : Gjestland et Magers (1996)	

Niveau 2 – consommation de SF₆ spécifique aux entreprises

Comme pour la méthode de niveau 1, le principe sous-jacent de la méthode de niveau 2 est que tout le SF₆ consommé est émis. Dans la méthode de niveau 2 il est toutefois supposé que la consommation nationale (ou sous nationale) de SF₆ dans l'industrie du magnésium est rapportée par l'industrie ou disponible à travers d'autres sources telles que des statistiques nationales.

L'application la plus exacte de la méthode est la récolte de données directes sur la consommation de SF₆ de tous les usagers individuels du gaz dans l'industrie du magnésium. Si aucune donnée directe n'est disponible, une méthode alternative, mais moins exacte, est d'estimer la part de consommation annuelle de SF₆ attribuable à l'industrie du magnésium. Ceci requiert la récolte de données annuelles sur les ventes nationales de SF₆ et suppose que tout le gaz de SF₆ vendu à l'industrie du magnésium est émis durant l'année en cours.

Méthode de niveau 3 – approche par mesure directe

Si des données réelles de mesures d'émissions sont disponibles auprès d'usines individuelles de traitement de magnésium, elles peuvent être agrégées pour être comptabilisées dans les émissions nationales. Dans un tel établissement de rapport, les bonnes pratiques recommandent d'inclure la destruction du SF₆ et la formation de produits gazeux secondaires.

HFC-134a, FK 5-1-12 et produits de décomposition (par ex., PFC)

Comme décrit plus haut, il y a peu de données historiques sur lesquelles baser des facteurs d'émission. Toutefois, si l'émission de GES de l'utilisation de gaz de couverture de magnésium est une *catégorie clé* nationale, les bonnes pratiques recommandent de récolter des mesures directes et/ou des mesures indirectes fiables des émissions de GES (émissions fugitives de HFC-134a et de FK 5-1-12 aussi bien que des émissions de PFC comme produits de décomposition) auprès de fonderies de magnésium employant le HFC-134a ou le FK 5-1-12 comme gaz de couverture. Ceci peut être considéré comme une approche de niveau 3. Au fil du temps, il peut être possible d'utiliser des mesures de niveau 3 comme moyen de développer des facteurs d'émission pouvant être utilisés pour le niveau 2.

Gaz porteurs

Comme mentionné plus tôt dans ce chapitre, la contribution du gaz porteur CO₂ utilisé dans les systèmes de gaz de couverture protectrice est normalement une petite fraction du potentiel de réchauffement planétaire. En général, elle peut être ignorée.

4.5.2.3 CHOIX DES DONNÉES SUR LES ACTIVITÉS

ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION PRIMAIRE

Pour la méthode de niveau 1, les compilateurs d'inventaire doivent obtenir des données de production primaire nationales et une connaissance du type de matière première utilisée dans le pays. Comme discuté dans la section 4.5.2.1, ces données peuvent ne pas être publiquement disponibles et de ce fait difficiles à obtenir, en particulier pour des unités de production de petite échelle (surtout de type à réduction thermique) dans les pays en voie de développement. Des données approximatives de production nationale de magnésium peuvent être disponibles au travers d'associations industrielles telles que l'Association Internationale de Magnésium. Pour la méthode de niveau 2, les compilateurs d'inventaire doivent récolter des données de production de magnésium primaire et des données sur les matières premières carboniques de chaque entreprise/usine. Avec la méthode de niveau 3, les données sur les activités consistent en des émissions directement mesurées et rapportées.

PROCÉDÉS DE MOULAGE DE MAGNÉSIUM (PRIMAIRE & SECONDAIRE)

SF₆

Pour la méthode de niveau 1, les bonnes pratiques recommandent de désagréger les données de production en segments utilisant le SF₆, si possible, (par ex. production primaire, recyclage, moulage de billettes, moulage sous pression, moulage de gravité, etc.) et appliquer les facteurs d'émission disponibles spécifiques aux segments. Lorsque des données désagrégées ne sont pas disponibles, des données de production agrégées supplémentaires, combinant possiblement des sorties de différents procédés, peuvent être utilisées pour fournir une estimation. En l'absence de données de consommation de SF₆ ou de production de magnésium, l'alternative est de récolter les données annuelles sur les ventes de SF₆ à l'industrie du magnésium. Les producteurs de SF₆ pourraient peut-être fournir ces données directement, ou elles pourraient être disponibles auprès des statistiques nationales. Les bonnes pratiques recommandent de considérer les données sur la consommation d'autres industries utilisant le SF₆ (par ex. l'équipement électrique) lors de l'estimation de la part consommée par l'industrie du magnésium.

Avec les méthodes de niveau 2 et 3, les données sur l'activité sont les émissions de SF₆ (et de produit gazeux secondaire) rapportées ou les totaux de consommation de SF₆ de chaque usine. Pour la méthode de niveau 1, les données de production de magnésium nationales – ou d'usines individuelles – sont nécessaires. Lorsqu'il y a un quelconque rapport direct d'utilisation de SF₆ dans un segment, les bonnes pratiques recommandent d'évaluer la part de production représentée par les usines qui effectuent ces rapports directs. Pour les autres usines, les bonnes pratiques recommandent d'utiliser les estimations d'émissions basées sur la production.

HFC-134a, FK 5-1-12 et produits de décomposition (par ex., PFC)

Avec la méthode de niveau 3, les données sur les activités consistent en des émissions directement mesurées et rapportées. Aucune directive de méthode de niveau 2 ou 3 n'est fournie ici et de ce fait, aucune donnée sur les activités n'est nécessaire.

Gaz porteurs

Les bonnes pratiques recommandent de l'établissement de rapports d'inventaire que les données sur les activités choisies pour les gaz porteurs soient analogues à celles du composé actif utilisé. Par ex., si du CO₂ est utilisé comme gaz porteur pour le SF₆, les données sur les activités du CO₂ devraient refléter celles du SF₆. Si le CO₂ est utilisé comme porteur pour le HFC-134a ou le FK 5-1-12, les données sur les activités du CO₂ devraient refléter celles du HFC-134a ou du FK 5-1-12.

4.5.2.4 EXHAUSTIVITÉ

Un établissement de rapport ou des données sur les activités incomplets ne devraient pas être une problématique significative pour les productions primaires des pays en voie de développement. Typiquement, il y a un petit nombre de producteurs de magnésium primaire bien connus dans les pays développés, et ces producteurs tiendront vraisemblablement de bons registres. Dans les pays en voie de développement, les problèmes d'exhaustivité se manifestent généralement dans les segments de moulage, où les usines sont distribuées plus largement et ont accès à un grand choix de capacités et de technologies. Certaines usines pourraient fournir des marchés niches non capturés par les ensembles de données nationales. Le compilateur d'inventaire devrait confirmer l'absence d'estimations pour ces petits segments industriels plutôt que de simplement supposer qu'ils ne se produisent pas. Il est aussi conforme aux *bonnes pratiques* d'entreprendre des sondages périodiques de

l'industrie et d'établir des rapports proches avec les associations industrielles internationales et locales pour vérifier l'exhaustivité des estimations.

Du fait que des systèmes de couverture de gaz alternatifs (n'utilisant pas le SF₆) se décomposent en divers produits dérivés fluorés, il peut y avoir un PRG non comptabilisé qui ne serait pas décrit. Ceci ne serait vraisemblablement pas significatif.

Comme une fraction croissante de la production primaire mondiale, ainsi que le traitement du magnésium, se produit dans plusieurs petites unités de production dans des pays à économies en développement, on s'attend à ce que l'exhaustivité soit un problème significatif.

Les compilateurs d'inventaire devraient prêter attention au potentiel de double comptage d'émissions de la calcination de matières premières de carbonate de magnésium pendant la production de magnésium primaire et ces émissions associées à la calcination de pierre à chaux, de dolomite et d'autres minéraux carbonés (voir chapitre 2, Autres utilisations des carbonates dans les procédés, dans ce volume). Toutes les émissions associées à la calcination de carbonates pour la production de magnésium primaire devraient être rapportées comme émissions de GES de la production de magnésium.

4.5.2.5 DÉVELOPPEMENT D'UNE SÉRIE TEMPORELLE COHÉRENTE

En termes de statistiques globales de production de magnésium, ces données seront typiquement disponibles pour l'historique d'une usine. Toutefois, dans certains cas, des données historiques de production peuvent être indisponibles dû au manque de registres initiaux ou de changements dans la structure de l'industrie dans la période en question. Dans ce cas, les données de production de sources internationales peuvent être utilisées.

Il peut y avoir des problèmes avec l'établissement d'une série temporelle cohérente pour les émissions de CO₂ de la production de magnésium primaire comme ces émissions peuvent ne pas avoir été rapportées avant 2006 (des directives pour l'établissement des rapports n'existaient pas dans les *Directives du GIEC de 1996 Révisées* (GIEC, 1997)). Pour la plupart des usines de production de magnésium primaire, il peut cependant être supposé que le niveau d'émission de CO₂ est relativement constant au fil du temps sur une base de tonnes de magnésium produites.

En termes d'émissions de SF₆, les *bonnes pratiques* pour l'approche de niveau 1 recommandent de multiplier les données historiques sur les activités par le facteur national/sous national par défaut présentement utilisé pour l'établissement d'une série temporelle cohérente. Il devrait être noté que les facteurs d'émission spécifiques aux usines décroîtraient typiquement au fil du temps dû à la conscience environnementale, à des facteurs économiques et à des technologies et pratiques améliorées.

Comme l'industrie du magnésium n'utilisait pas de gaz de couverture HFC-134a et FK 5-1-12 en quantités significatives dans un quelconque pays avant 2003, les émissions historiques seront vraisemblablement nulles. Étant donné le niveau de complexité dans le rapport d'émissions liées à l'utilisation de ces gaz, développer une série temporelle cohérente sera un défi pour les compilateurs d'inventaire.

Les bonnes pratiques recommandent d'évaluer les bons facteurs d'émission historiques suivant les directives du chapitre 5 du volume 1. Afin d'assurer une cohérence au cours du temps, les *bonnes pratiques* consistent à recalculer les estimations d'émissions en utilisant des méthodes préalablement utilisées et nouvelles afin d'assurer que toute tendance dans les émissions est réelle et non le résultat de changements dans les méthodologies d'estimation. La *bonne pratique* est de documenter les suppositions dans tous les cas et de les archiver au compilateur d'inventaire.

4.5.3 Évaluation des incertitudes

ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION PRIMAIRE

Au niveau des usines, il devrait normalement y avoir une bonne documentation du type/de l'analyse et de l'utilisation des matières premières, ainsi que les tonnages de magnésium produits. Des données sur les activités directement rapportées, nécessaires pour les méthodes de niveaux 2 et 3 pour tous les gaz, sont typiquement exacts à moins de 5% d'erreur. Au niveau des inventaires nationaux, l'exactitude des données sur les activités de production et d'émission de magnésium est comparable à celle d'autres statistiques nationales de production (à savoir ±5%). L'incertitude supplémentaire est introduite à travers l'estimation de la part de production qui n'est pas directement rapportée.

PROCÉDÉS DE MOULAGE DE MAGNÉSIUM (PRIMAIRE & SECONDAIRE)

SF₆

Dans l'approche de niveau 1, agréger la production de divers segments secondaires et utiliser le facteur d'émission par défaut introduit de l'incertitude. Par exemple, les données nationales sur les opérations de moulage peuvent ne pas être ségréguées en segments de moulage sous pression et de moulage de gravité, malgré leurs taux d'émission de SF₆ potentiellement différents. De ce fait, cette approche donne par défaut une approximation très vague des émissions réelles. Étant donné que des opérations de manipulation et de moulage différentes pourraient utiliser des concentrations de SF₆ dans le gaz de couverture qui différeraient dans les ordres de magnitude, les incertitudes de l'utilisation de la méthode de niveau 1 peuvent aussi varier dans les ordres de magnitude. Pour les méthodes de niveaux 1 et 2, il y a aussi un niveau d'incertitude associé à la supposition que 100% du SF₆ utilisé est émis. Dans une opération de moulage typique, l'incertitude de cette supposition devrait être dans les 30% (Bartos *et al.*, 2003).

Pour la méthode de niveau 2, il y a une incertitude très basse associée à l'utilisation du SF₆ au niveau d'une entreprise, puisque l'utilisation de SF₆ est facilement et précisément mesurée à partir des données d'achat. (Une estimation d'incertitude de moins de 5% est normalement juste pour des données directement rapportées.)

Pour la méthode de niveau 3, les incertitudes viennent principalement de la calibration/précision de l'équipement de surveillance. Des méthodes typiques d'analyse de gaz telles que la Spectroscopie Fourier à Infrarouge Transformé (SFIRT) opère généralement avec une exactitude estimée de $\pm 10\%$. En plus de la SFIRT et de techniques analytiques similaires, il y aura de l'incertitude supplémentaire causée par des problèmes liés à l'échantillonnage représentatif et la calibration qui pourraient élever l'incertitude globale de la SFIRT à $\pm 20\%$.

HFC-134a, FK 5-1-12 et produits de décomposition (par ex., PFC)

Comme avec la méthode de niveau 3 pour le SF₆, les incertitudes principales sont associées à la calibration/précision de l'équipement de surveillance dans les procédés employant les gaz de couverture HFC-134a ou FK 5-1-12. Les incertitudes sont approximées à $\pm 10\%$.

Gaz porteurs

La plus grande incertitude est associée à l'approche de niveau 1 consistant à considérer que les émissions de CO₂ des gaz de couverture sont négligeables. Ceci est particulièrement vrai si une usine utilise un mélange de gaz porteur très riche en CO₂. Les autres niveaux ont les mêmes incertitudes que celles relatives pour le SF₆.

4.5.4 Assurance qualité / contrôle qualité (AQ/CQ), établissement de rapports et documentation

4.5.4.1 ASSURANCE QUALITÉ / CONTRÔLE QUALITÉ (AQ/CQ)

Les bonnes pratiques recommandent d'effectuer des vérifications du contrôle qualité comme souligné dans le chapitre 6 du volume 1 et une révision experte des estimations d'émissions. Des vérifications additionnelles du contrôle qualité, comme souligné dans le chapitre 6 du volume 1 et des procédures d'assurance qualité peuvent aussi être applicables, en particulier pour des méthodes de niveaux supérieurs. Les compilateurs d'inventaires sont encouragés à utiliser une méthode d'AQ/de CQ d'un niveau supérieur pour les *catégories clé*, comme identifié dans le volume 1 au chapitre 4.

La section suivante décrit des procédures spécifiques supplémentaires pour la production de magnésium :

Comparaison des estimations d'émissions par utilisation de différentes approches

Si les émissions ont été calculées en utilisant les données d'usines individuelles, les compilateurs d'inventaire devraient comparer l'estimation à des émissions calculées en utilisant des données sur la production nationale de magnésium ou (dans le cas du SF₆) des données nationales sur la consommation attribuée à l'utilisation de magnésium. Les résultats de la comparaison devraient être enregistrés et toute divergence devrait être investiguée.

Révision des données au niveau des usines

Les informations suivantes spécifiques aux usines devraient être archivées afin de faciliter une révision indépendante :

- Volumes et types de procédés de production de magnésium ;
- Consommation/composition du gaz de couverture avec PRG (SF₆, HFC-134a, FK 5-1-12, CO₂, etc.) ou production de magnésium (lorsque des facteurs sont utilisés).
- Résultats d'AQ/CQ au niveau des usines (y compris la documentation des l'échantillonnage, la méthode de mesure et les résultats de mesure pour les données au niveau des usines) ;
- Résultats d'AQ/CQ menés par un corps intégrant (par ex. association industrielle telle que l'Association Internationale de Magnésium) ;
- Méthode de calculs et d'estimation ; et
- Lorsque applicable, une liste des suppositions dans l'allocation de l'utilisation nationale de SF₆, de HFC-134a, de FK 5-1-12 ou d'un autre gaz de couverture d'intérêt ou la production au niveau de l'usine.

Les compilateurs d'inventaire devraient déterminer si des standards nationaux et internationaux de mesure ont été utilisés pour l'établissement de rapports sur la consommation de gaz de couverture de réchauffement planétaire (SF₆, HFC-134a, FK 5-1-12, etc.) ou les données de production de magnésium au niveau des usines. Si des méthodes standard et des procédures d'AQ/CQ n'ont pas été suivies, alors l'utilisation de ces données sur les activités devra être reconsidérée.

Révision des données nationales sur les activités

Des activités d'AQ/CQ associées à la référence de données de production de magnésium devraient être évaluées et référencées. Les compilateurs d'inventaire devraient vérifier si l'association commerciale ou l'agence ayant compilé les données nationales de production a utilisé des procédures d'AQ/CQ acceptables. Si les procédures d'AQ/CQ sont jugées acceptables, les compilateurs d'inventaire devraient référencer l'activité de CQ comme partie de la documentation d'AQ/CQ.

Évaluation des facteurs d'émission

Lorsque des facteurs spécifiques aux entreprises/pays sont utilisés, les compilateurs d'inventaire devraient revoir le niveau de CQ associé aux données sous-jacentes. Les bonnes pratiques recommandent que le compilateur d'inventaire vérifie par recoupement les facteurs par défaut de niveau national et les facteurs au niveau des usines afin de déterminer s'ils sont représentatifs.

Révision par les pairs

Les compilateurs d'inventaire devraient impliquer des experts de l'industrie du magnésium dans une révision approfondie de l'estimation d'inventaire, donnant considération à des problèmes éventuels de confidentialité. Les données de production historiques peuvent être moins sensibles à la révélation publique que les données actuelles et pourraient être utilisées pour la révision des émissions au niveau d'une usine par des pairs externes.

Vérification des données sur les émissions de SF₆

Les compilateurs d'inventaire devraient additionner la quantité de SF₆ utilisée par différents secteurs industriels (par ex. magnésium, équipement électrique) et comparer cette valeur avec l'usage total de SF₆ dans le pays, obtenu à partir de données d'import/export et de production. Ceci fournit un majorant pour les émissions potentielles.¹⁶

4.5.4.2 ÉTABLISSEMENT DE RAPPORTS ET DOCUMENTATION

Les bonnes pratiques recommandent de documenter et d'archiver toute l'information requise pour produire les estimations d'inventaire d'émissions nationales, comme souligné dans le volume 1 de la section 6.11. Il n'est guère pratique d'inclure toute la documentation dans le rapport d'inventaire national. Cependant, l'inventaire devrait inclure des résumés des méthodes utilisées et des références à des données source de sorte que les estimations d'émissions rapportées soient transparentes et que les étapes de leur calcul puissent être retracées.

Pour améliorer la transparence, les bonnes pratiques recommandent de rapporter les estimations d'émissions de la catégorie de source du magnésium par segment industriel tel que production primaire, secondaire et moulage.

Les informations supplémentaires suivantes peuvent fournir un degré raisonnable de transparence dans l'établissement des rapports :

Rapport direct

- Nombre d'usines de magnésium établissant des rapports ;
- Les types de procédés et de fabrication employés ;
- Magnésium et produits de magnésium produits ;
- Émissions de SF₆ associées au segment du magnésium ;
- Utilisation d'autres gaz de couverture protectrice à PRG ; et
- Données de facteur d'émission (et référence) pour chaque gaz de couverture protectrice avec PRG.

Estimation nationale d'émissions potentielles de gaz de couverture basée sur les ventes

- Consommation nationale de SF₆ (et référence) ;
- Utilisation nationale de HFC-134a assignée au secteur du magnésium ;
- Utilisation nationale de FK 5-1-12 assignée au secteur du magnésium ;
- Suppositions pour l'allocation de SF₆, HFC-134a et FK 5-1-12 utilisés pour du magnésium ;
- Estimation du pourcentage national de SF₆, HFC-134a et FK 5-1-12 utilisé pour le magnésium (et référence) ; et
- De quelconques autres suppositions faites ;

Dans la plupart des pays, l'industrie du magnésium sera représentée par un petit nombre d'usines. Dans cette industrie, les données sur le niveau d'activité et les émissions de gaz de couverture (directement liées aux niveaux d'activité) peuvent être considérées comme informations d'entreprise confidentielles et l'établissement de rapports publics peut être sujette à des considérations de confidentialité.

4.6 PRODUCTION DE PLOMB

4.6.1 Introduction

PROCÉDÉS DE PRODUCTION PRIMAIRE

Il y a deux procédés principaux pour la production de plomb d'œuvre brut à partir de concentrés de plomb. Le premier type est l'agglomération/fonte, qui consiste en des étapes séquentielles d'agglomération et de fusion et constitue grossièrement 78% de la production primaire de plomb. Le second type est la fusion directe, qui élimine l'étape d'agglomération et constitue les 22% restants de la production de plomb primaire dans le monde développé. (Sjardin, 2003)

Dans le procédé d'agglomération/fusion, l'agglomérat initial mélange des concentrés de plomb avec de l'aggloméré recyclé, de la pierre à chaux et du silicium et du dépôt à haute teneur en plomb pour ôter les métaux sulfureux et volatils par combustion (Industrie Métallurgique, 1995). Le procédé, qui produit un rôti d'aggloméré consistant d'oxyde de plomb et d'autres oxydes métalliques, crée des émissions de dioxyde de soufre (SO₂) et de dioxyde de carbone (CO₂) lié à l'énergie à partir du gaz naturel utilisé pour allumer les oxydes de plomb (Département de l'Énergie, 2002). Le rôti d'aggloméré est alors placé dans un haut fourneau avec des minerais contenant d'autres métaux, de l'air, des produits dérivés de fondeur et du coke métallurgique (Industrie Métallurgique, 1995). Le coke brûle lorsqu'il réagit avec l'air et produit du monoxyde de carbone (CO) qui effectue la réduction de l'oxyde de plomb par réaction chimique (DDE, 2002). Le procédé de fusion se produit soit dans un haut fourneau traditionnel, soit dans un four « Imperial Smelting » et c'est la réduction de l'oxyde de plomb lors de ce procédé qui produit des émissions de CO₂ (Sjardin, 2003). Le procédé d'agglomération produit du plomb d'œuvre fondu (Industrie Métallurgique, 1995).

Dans le procédé de fusion directe, l'étape d'agglomération est sautée, et les concentrés de plomb et les autres matériaux sont insérés directement dans un four où ils sont fondus et oxydés (Sjardin, 2003). Une variété de fours sont utilisés pour le procédé de fusion directe, avec les fours l'Isasmelt-Ausmelt, Queneau-Schumann-Lurgi et Kaldo utilisés pour la fusion en bain et le four Kivcet utilisé pour la fusion éclair. Bon nombre d'agents réducteurs, y compris le charbon, le coke métallurgique et le gaz naturel, sont utilisés dans le procédé en quantités différentes pour chaque four, ce qui résulte en différents niveaux d'émissions de CO₂ pour chaque type de four (Sjardin, 2003 ; LDA, 2002). Le procédé de fusion directe offre des économies environnementales – et potentiellement de coût – significatives à travers l'évitement du procédé d'agglomération et l'on s'attend de ce fait à ce qu'il constitue une portion croissante de la production de plomb de raffinerie primaire à l'avenir (LDA, 2002).

PROCÉDÉ DE PRODUCTION SECONDAIRE

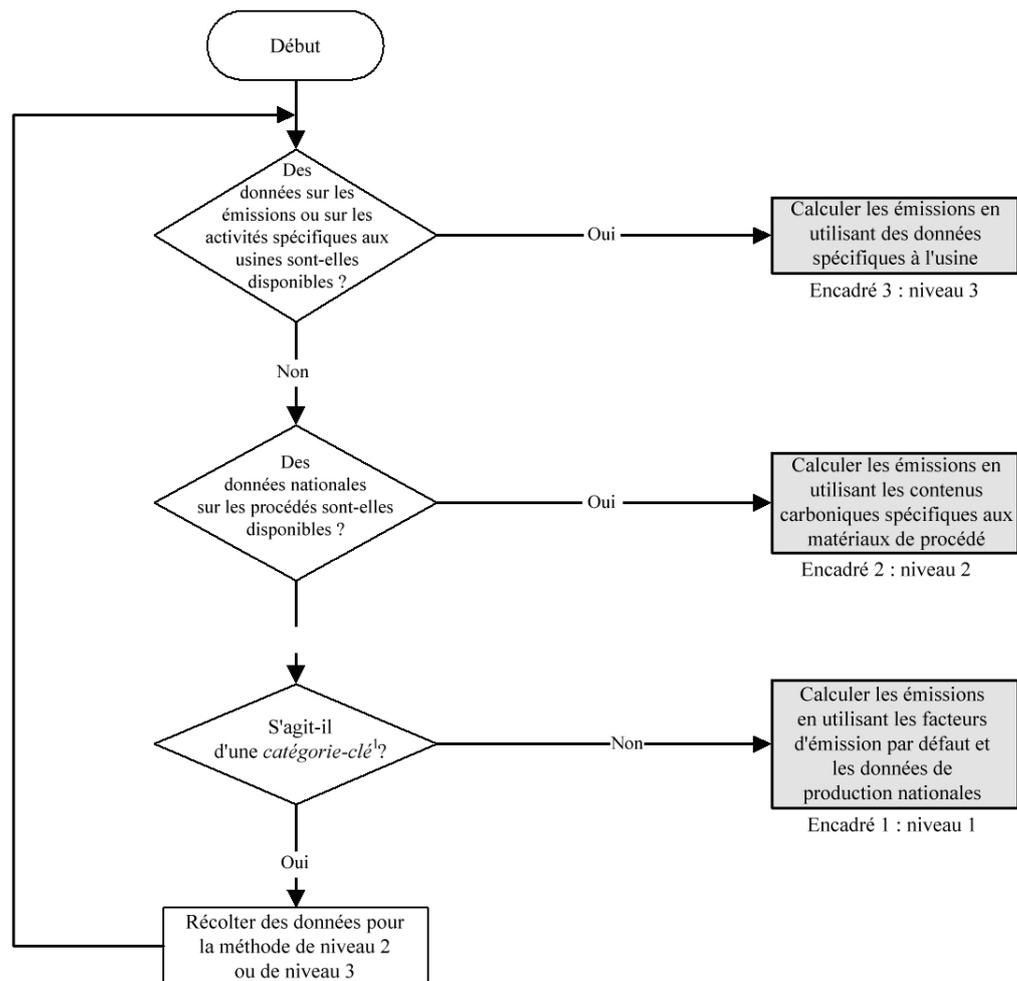
La production secondaire de plomb représente le traitement de plomb recyclé pour le préparer à la réutilisation. La grande majorité de ce plomb recyclé vient de batteries à acide de plomb rebutées. Les batteries à acide de plomb sont soit écrasées par un broyeur à marteaux et inséré dans le procédé de fusion avec ou sans désulfuration ou sont fondues en entier (Sjardin, 2003). Les haut fourneaux traditionnels, les fours « Imperial Smelting », les FEA, les fours électriques à résistance, les fours à réverbère, les fours Isasmelt, les fours Queneau-Schumann-Lurgi et les fours Kivcet peuvent tous être utilisés pour la fusion de ces batteries et d'autre plomb rebuté recyclé (Sjardin, 2003). Comme avec les fours utilisés pour la production de plomb d'œuvre primaire, ces fours génèrent différents niveaux d'émissions de CO₂ de par leur utilisation de différents types et quantités de réducteurs. Les réducteurs primaires sont le charbon, le gaz naturel et le coke métallurgique, bien que le four électrique à résistance utilise du coke de pétrole (Sjardin, 2003).

4.6.2 Questions méthodologiques

4.6.2.1 CHOIX DE LA MÉTHODE

Les *Directives du GIEC* décrivent trois méthodes pour le calcul des émissions de CO₂ de la production de plomb. Le choix d'une *bonne pratique* dépend des circonstances nationales tel qu'il est montré dans le diagramme décisionnel dans la figure 4.15. La méthode de niveau 1 calcule les émissions à partir de facteurs d'émission généraux appliqués à la production totale de plomb d'un pays et est la moins précise. Cette méthode n'est appropriée que lorsque la production de plomb n'est pas une *catégorie clé*. La méthode de niveau 2 utilise des données de matériaux de procédé spécifiques aux pays pour les procédés de productions primaires et secondaires multipliés par le contenu carbonique approprié des matériaux de procédé. La méthode de niveau 3 nécessite des données sur les émissions ou sur les activités mesurées spécifiques aux usines.

Figure 4.15 Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de CO₂ de la production de plomb



Note :

1. Voir chapitre 4 du volume 1, choix méthodologiques et identification de catégories-clé (prendre note de la section 4.1.2 sur les ressources limitées), pour la discussion des *catégories-clé* et de l'utilisation de diagrammes décisionnels.

MÉTHODE DE NIVEAU 1

L'estimation la plus simple consiste à multiplier les facteurs d'émission par défaut par la production de plomb. Lorsque les seules données disponibles sont les statistiques nationales de production de plomb, les bonnes pratiques recommandent d'utiliser les facteurs d'émission par défaut. L'équation 4.32 calcule les émissions totales de CO₂ de la production de plomb en additionnant les émissions par source et en comptabilisant les émissions du prétraitement d'intermédiaires secondaires. S'il n'est pas possible de différencier le type de procédé de production, le facteur d'émission par défaut devrait être employé. Le facteur d'émission par défaut suppose que 80% de la production (à la fois primaire et secondaire) soit fondue dans des fours « Imperial Smelting » ou des hauts fourneaux, alors que les 20% restants soient fondus par la méthode de fusion directs dans les fours Kivcet, Ausmelt et Queneau-Schumann-Lurgi. La supposition est cohérente avec les données sur la production globale de plomb (Sjardin, 2003).

$$\begin{aligned}
 & \text{ÉQUATION 4.32} \\
 & \text{ÉMISSIONS DE CO}_2 \text{ DE LA PRODUCTION DE PLOMB} \\
 & E_{CO_2} = DS \cdot FE_{DS} + ISF \cdot FE_{ISF} + S \cdot FE_S
 \end{aligned}$$

Où :

E_{CO_2} = émissions de CO₂ de la production de plomb, tonnes

DS = quantité de plomb produite par fusion directe, tonnes

FE_{DS} = facteur d'émission pour la fusion directe, tonne CO₂/tonne de plomb produite

ISF = quantité de plomb produite dans des fours « Imperial Smelting », tonnes

FE_{ISF} = facteur d'émission pour les fours « Imperial Smelting », tonne CO₂/tonne de plomb produite

S = quantité de plomb produite à partir de matériaux secondaires, tonnes

FE_S = facteur d'émission pour les matériaux secondaires, tonne CO₂/tonne de plomb produite

Les facteurs d'émission de CO₂ utilisés dans l'équation 4.32 sont montrés dans le tableau 4.21.

MÉTHODE DE NIVEAU 2

La méthode de niveau 2 reconnaît qu'il y a des différences substantielles entre les émissions de CO₂ pour la production de plomb suivant la méthodologie de production et la source de matières premières, soit de sources secondaires comme des batteries recyclées, soit de production primaire à partir de minerais. Les sources secondaires de plomb peuvent être prétraitées afin d'enlever les impuretés dues aux émissions de CO₂. Les émissions peuvent être calculées en utilisant des facteurs d'émission spécifiques aux pays basés sur l'utilisation d'agents réducteurs, de types de fours et d'autres matériaux de procédé intéressants. Les facteurs peuvent être développés à base de contenus carboniques applicables à ces matériaux. Le tableau 4.22 fournit les contenus carboniques qui peuvent être utilisés pour dériver des facteurs spécifiques aux pays. Ces données peuvent être disponibles auprès d'agences gouvernementales responsables des statistiques de fabrication ou d'énergie, des associations d'entreprises ou de commerce industriel ou d'entreprises de plomb individuelles. Le niveau 2 est plus exact que le niveau 1 parce qu'il tient compte des matériaux et de la variété de types de fours utilisés dans le secteur du plomb qui contribuent aux émissions de CO₂ pour un pays en particulier plutôt que de supposer les pratiques mondiales de l'industrie.

MÉTHODE DE NIVEAU 3

Si des données réelles de mesures d'émissions de CO₂ sont disponibles auprès d'usines de plomb, elles peuvent être agrégées pour être comptabilisées dans les émissions nationales de CO₂ en utilisant la méthode de niveau 3. Les émissions nationales totales seront égales à la somme des émissions rapportées par chaque usine. Si les émissions des usines ne sont pas disponibles, les émissions devraient être calculées à partir de données spécifiques aux usines pour des agents réducteurs et d'autres matériaux de procédé. Afin d'arriver à des niveaux d'exactitude plus élevés que le niveau 2, les bonnes pratiques recommandent de développer des estimations d'émissions au niveau des usines parce que les usines peuvent différer considérablement dans leurs technologies, spécifiquement celles de leurs four. Ces données peuvent être disponibles auprès d'agences gouvernementales responsables des statistiques de fabrication ou d'énergie, des associations d'entreprises ou de commerce industriel, mais il est préférable d'agréger à partir de données fournies par des usines de plomb individuelles.

4.6.2.2 CHOIX DES FACTEURS D'ÉMISSION

MÉTHODE DE NIVEAU 1

Lorsque les seules données disponibles sont des statistiques nationales de production de plomb, les bonnes pratiques recommandent d'utiliser les facteurs d'émission par défaut de 0,52 tonnes de CO₂/tonne de plomb (Sjardin, 2003). Ce facteur par défaut devrait être utilisé uniquement lorsque aucune information n'est disponible sur les quantités relatives de plomb produites à partir de matériaux primaires et secondaires. Si des informations sont disponibles, les émissions devraient être calculées en utilisant les facteurs appropriés du tableau 4.21. (Sjardin, 2003). L'incertitude dans le facteur par défaut est élevée et varie suivant le mélange de méthodes de production et le pourcentage de traitement secondaire. De plus, le facteur d'émission par défaut suppose que 80% de la production (à la fois primaire et secondaire) sont fondus dans des fours « Imperial Smelting », alors que les 20% restants sont fondus par la méthode de fusion directs dans les fours Kivcet, Ausmelt et Queneau-Schumann-Lurgi (Sjardin, 2003).

TABLEAU 4.21 FACTEURS D'ÉMISSION DE CO ₂ GÉNÉRIQUES POUR LA PRODUCTION DE PLOMB PAR SOURCE ET TYPE DE FOUR (TONNES DE CO ₂ /TONNE PRODUIT)			
De la production de fours « Imperial Smelting » (FIS)	De la production de fusion directe (FD)	Du traitement de matières premières secondaires	Facteur d'émission par défaut (80% FIS, 20% FD)
0,59	0,25	0,2	0,52
Source : Sjardin (2003)			

MÉTHODE DE NIVEAU 2

Cette méthode offre l'opportunité d'ajuster les facteurs d'émission pour refléter les variations vis-à-vis des normes présumées basées sur des données spécifiques aux usines pour le contenu carbonique de ces matériaux et le type de four. Les contenus carboniques par défaut du tableau 4.22 devraient être utilisés si un compilateur d'inventaire n'a pas d'informations sur les conditions des usines de plomb, mais qu'il a des données sur les activités détaillées sur les matériaux du procédé. Les valeurs par défaut du tableau 4.22 sont dérivées de valeurs par défaut des tableaux 1.2 et 1.3 du chapitre 1 du volume 2 et devraient être référencés pour plus d'information.

TABLEAU 4.22 CONTENUS CARBONIQUES SPÉCIFIQUES AUX MATÉRIAUX POUR LA PRODUCTION DE PLOMB (KG C/KG)	
Matériaux de procédé	Contenu carbonique
Gaz de hauts fourneaux	0,17
Charbon de bois*	0,91
Charbon ¹	0,67
Goudron de houille	0,62
Coke	0,83
Gaz de cokeries (Coke oven gas)	0,47
Houille à coke	0,73
Électrodes de carbone de FEA ²	0,82
Carbone de charge de FEA ³	0,83
Fioul ⁴	0,86
Coke de gaz	0,83
Gaz naturel	0,73
Coke de pétrole	0,87
Source : Les références pour les données du contenu en carbone sont comprises dans les tableaux 1.2 et 1.3 du volume 2, chapitre 1.	
Remarques :	
¹ Autre charbon bitumeux présumé	
² 80% de coke de pétrole et 20% de goudron de houille présumés	
³ Coke de four à coke présumé	
⁴ Essence/diesel comme carburant présumé	
* La quantité d'émissions de CO ₂ du charbon de bois peut être calculée en utilisant cette valeur de contenu carbonique, mais elle devrait être rapportée comme zéro dans les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. (Voir section 1.2 du volume 1)	

MÉTHODE DE NIVEAU 3

La méthode de niveau 3 se base sur des estimations d'émissions agrégées ou l'application du niveau 2 à un niveau spécifique à l'usine. Le compilateur d'inventaire devrait s'assurer que chaque usine ait documenté les facteurs d'émission et les contenus carboniques utilisés et que ces facteurs d'émission sont indicatifs des procédés et des matériaux utilisés à l'usine. La méthode de niveau 3 requiert des contenus carboniques et des taux de masse de production/consommation pour tous les matériaux de procédé et les transferts hors site tels que ceux listés dans le tableau 4.22. Alors que le tableau 4.22 fournit des contenus carboniques par défaut, les *bonnes*

pratiques du niveau 3 recommandent d'ajuster ces valeurs afin de refléter les variations au niveau de l'usine des valeurs représentées dans le tableau. Les facteurs par défaut listés dans le tableau 4.22 sont seulement appropriés pour la méthode de niveau 3 si des informations spécifiques à l'usine indiquent qu'elles correspondent aux conditions réelles. Il est prévu que pour la méthode de niveau 3, les données spécifiques aux usines incluraient à la fois des données sur le contenu carbonique et le taux de masse de production/consommation et que – de ce fait – les valeurs du tableau 4.22 ne seraient pas appliquées à la méthode de niveau 3 dans la plupart des cas.

4.6.2.3 CHOIX DES DONNÉES SUR LES ACTIVITÉS

MÉTHODE DE NIVEAU 1

La méthode de niveau 1 nécessite uniquement la quantité de plomb produite dans le pays et, si elle est disponible, la quantité par type de four. Ces données peuvent être disponibles auprès d'agences gouvernementales responsables des statistiques de fabrication, des associations d'entreprises ou de commerce industriel ou d'entreprises de plomb individuelles. Ces tonnages peuvent alors être multipliés par le facteur d'émission correspondant du tableau 4.21 pour estimer les émissions de CO₂ du secteur ou le facteur par défaut si le type de four n'est pas disponible.

MÉTHODE DE NIVEAU 2

La méthode de niveau 2 nécessite uniquement la quantité totale d'agents réducteurs et d'autres matériaux de procédé utilisés pour la production de plomb dans le pays. Ces données peuvent être disponibles auprès d'agences gouvernementales responsables des statistiques de fabrication ou d'énergie, des associations d'entreprises ou de commerce industriel ou d'entreprises de plomb individuelles. Ces quantités peuvent ensuite être multipliées par les contenus carboniques appropriés du tableau 4.22 et additionnées afin de déterminer l'émission totale de CO₂ du secteur. Toutefois, les données sur les activités récoltées au niveau des usines sont préférables (niveau 3). S'il ne s'agit pas d'une *catégorie clé* et que les données pour les agents réducteurs et les matériaux de procédé totaux pour l'ensemble de l'industrie ne sont pas disponibles, les émissions peuvent être estimées en utilisant l'approche de niveau 1.

MÉTHODE DE NIVEAU 3

La méthode de niveau 3 nécessite la récolte, la compilation et l'agrégation de données mesurées sur les émissions ou sur les activités spécifiques aux usines. Si les données d'émission ne sont pas disponibles, la méthode de niveau 3 nécessite la récolte de données sur les activités au niveau des usines et leur agrégation pour le secteur. La quantité d'agents réducteurs et le type de four utilisé sont plus exactement déterminés de cette manière. Ces données peuvent être disponibles auprès d'agences gouvernementales responsables des statistiques de fabrication ou d'énergie, des associations d'entreprises ou de commerce industriel, mais sont préférablement agrégées à partir de données fournies par des usines de plomb individuelles. Cette approche permet aussi une plus grande exactitude en permettant aux entreprises individuelles de fournir des données spécifiques aux usines plus précises et/ou d'utiliser des contenus carboniques plus pertinents afin de refléter les contenus carboniques et les types de fours qui pourraient différer des facteurs par défaut utilisés dans la méthode de niveau 2.

4.6.2.4 EXHAUSTIVITÉ

En estimant les émissions de cette catégorie source, il existe un risque de double comptage ou d'omission aussi bien dans le GIEC que dans le secteur de l'énergie. Comme directive générale, toutes les émissions de procédés de la production de plomb devraient être rapportées dans le secteur GIEC.

4.6.2.5 DÉVELOPPEMENT D'UNE SÉRIE TEMPORELLE COHÉRENTE

Les émissions de la production de plomb devraient être calculées en utilisant la même méthode pour chaque année de la série temporelle. Lorsque les données pour soutenir une méthode de niveau 3 pour toutes les années de la série temporelle ne sont pas disponibles, les bonnes pratiques recommandent de recalculer ces lacunes selon les directives fournies dans le volume 1 au chapitre 5, « Cohérence de la série temporelle et recalcul ».

4.6.3 Évaluation des incertitudes

Les incertitudes d'estimations de la production de plomb résultent avant tout d'incertitudes associées aux données sur les activités et de l'incertitude liée au facteur d'émission. Le tableau 4.23 fournit un aperçu des incertitudes pour des facteurs d'émission et des données sur les activités.

4.6.3.1 INCERTITUDES DES FACTEURS D'ÉMISSION

Les facteurs d'émission utilisés dans le niveau 1 peuvent avoir une incertitude $\pm 50\%$. Les contenus carboniques de niveau 2 auront vraisemblablement une incertitude de $\pm 15\%$. L'incertitude du facteur d'émission de niveau 3 sera vraisemblablement dans les 5% si les données de contenu carbonique spécifiques aux usines sont disponibles.

4.6.3.2 INCERTITUDES DES DONNÉES SUR L'ACTIVITÉ

Les statistiques nationales de production devraient être disponibles et avoir une incertitude vraisemblable de $\pm 10\%$. Pour le niveau 2, la quantité totale d'agents réducteurs et de matériaux de procédé utilisés pour la production de plomb sera vraisemblablement dans une limite de 10%. Le niveau 3 requiert des informations spécifiques aux usines sur les données de production (environ 5% d'incertitude). En plus, les données sur les émissions réelles pour le niveau 3 devront aussi avoir une incertitude de $\pm 5\%$.

MC)thode	Source de données	Plage d'incertitude
Niveau 1	Données de production nationales	$\pm 10\%$
	Facteur d'émission par défaut	$\pm 50\%$
	Facteurs d'émission par type de procédé	$\pm 20\%$
Niveau 2	Quantités et types d'agents réducteurs utilisés	$\pm 10\%$
	Contenus carboniques des matériaux de procédé	$\pm 15\%$
Niveau 3	Données sur les matériaux de procédés dérivées des entreprises	$\pm 5\%$
	Données de CO ₂ mesuré spécifiques aux usines	$\pm 5\%$
	Facteurs d'émission spécifiques aux usines	$\pm 5\%$

4.6.4 Assurance qualité / contrôle qualité (AQ/CQ), établissement de rapports et documentation

4.6.4.1 ASSURANCE QUALITÉ / CONTRÔLE QUALITÉ (AQ/CQ)

Les bonnes pratiques recommandent d'effectuer des vérifications du contrôle qualité comme souligné dans le chapitre 6 du volume 1 et une révision experte des estimations d'émissions. Des vérifications additionnelles du contrôle qualité, comme souligné dans le chapitre 6 du volume 1 et des procédures d'assurance qualité peuvent aussi être applicables, en particulier si des méthodes de niveaux supérieurs sont utilisées pour déterminer les émissions à partir de cette catégorie source. Les agences d'inventaires sont encouragés à utiliser une méthode d'AQ/de CQ d'un niveau supérieur pour les *catégories clé*, comme identifié dans le volume 1 au chapitre 4.

En plus des directives du chapitre 6 du volume 1, des procédures spécifiques pertinentes de catégories sources sont présentées ci-dessous :

Révision des facteurs d'émission

Les compilateurs d'inventaire devraient comparer les facteurs d'émission nationaux agrégés avec les facteurs d'émission par défaut du GIEC de manière à déterminer si le facteur national est raisonnable par rapport à la

valeur par défaut du GIEC. Des différences entre les facteurs nationaux et les facteurs par défaut devraient être expliquées et documentées, surtout si elles sont représentatives de circonstances différentes.

Vérification des données sur les activités spécifiques au site

Pour des données spécifiques au site, les compilateurs d'inventaire devraient revoir les incohérences entre les sites pour établir si elles reflètent des erreurs, des techniques de mesure différentes, ou si elles résultent de différences réelles en émissions, en conditions d'opération ou en technologie. Pour la production de plomb, les compilateurs d'inventaire devraient comparer les données d'usine avec d'autres usines.

Les compilateurs d'inventaire devraient assurer que les facteurs d'émission et les données sur les activités sont développés en accord avec des méthodes de mesure internationalement reconnues et prouvées. Si les pratiques de mesures ne respectent pas ce critère, l'utilisation de ces facteurs d'émission ou de ces données sur les activités devrait être évaluée avec attention, les estimations d'incertitude reconsidérées et les qualifications documentées. S'il existe un standard élevé de mesure et qu'une AQ/CQ est en place sur la majorité des sites, l'incertitude des estimations d'émissions pourra être revue à la baisse.

Examen d'experts

Les compilateurs d'inventaire devraient inclure des organisations clé de commerce industriel associées à la production de plomb dans un procédé de révision. Ce procédé devrait débiter tôt dans le développement d'inventaire pour fournir l'entrée au développement, à l'examen de méthodes et à l'acquisition de données.

Des examens de tiers peuvent aussi être utiles pour cette catégorie de source, en particulier en rapport avec la récolte initiale de données, la transcription, les calculs et la documentation.

Vérification des données sur les activités

Pour tous les niveaux, les compilateurs d'inventaire devraient vérifier avec le volume 2, « Énergie », pour s'assurer que les émissions des agents réducteurs et matériaux de procédé (charbon, coke, gaz naturel, etc.) ne sont pas comptés deux fois ou omis.

Les compilateurs d'inventaire devraient examiner toute incohérence entre les données de différentes usines pour établir si elles reflètent des erreurs, des techniques de mesure différentes, ou si elles résultent de différences réelles en émissions, en conditions d'opération ou en technologie. Ceci est particulièrement valable concernant les estimations spécifiques aux usines de quantités d'agents réducteurs ou les contenus carboniques rapportés de matériaux de procédé.

Les compilateurs d'inventaire devraient comparer des agrégations d'estimations au niveau des usines aux totaux de l'industrie pour la consommation de matériaux de procédé lorsque de telles données commerciales sont disponibles.

4.6.4.2 ÉTABLISSEMENT DE RAPPORTS ET DOCUMENTATION

Les bonnes pratiques recommandent de documenter et d'archiver toute l'information requise pour produire les estimations d'inventaire d'émissions nationales, comme souligné dans le volume 1 de la section 6.11. Il n'est guère pratique d'inclure toute la documentation dans le rapport d'inventaire national. Cependant, l'inventaire devrait inclure des résumés des méthodes utilisées et des références à des données source de sorte que les estimations d'émissions rapportées soient transparentes et que les étapes de leur calcul puissent être retracées.

MÉTHODE DE NIVEAU 1

Hormis l'établissement de rapports d'émissions, les bonnes pratiques recommandent de rapporter la production totale de plomb par procédé et les facteurs d'émission correspondants utilisés.

MÉTHODE DE NIVEAU 2

La *bonne pratique* est de documenter les émissions calculées ou estimées, toutes données sur les activités et les contenus carboniques correspondants ainsi que toute supposition ou donnée justifiant des valeurs alternatives. Il devrait y avoir une explication claire du lien avec le volume 2, « Énergie », afin de démontrer qu'aucun double comptage ou omission ne s'est produit.

MÉTHODE DE NIVEAU 3

La *bonne pratique* est de documenter les émissions calculées et toutes les données de source, en prenant en compte le besoin de protéger la confidentialité des données pour des usines spécifiques si elles sont sensibles à l'entreprise ou de nature propriétaire. De plus, les compilateurs d'inventaire devraient – et ce pour tous les niveaux – documenter toute information nécessaire pour reproduire l'estimation, ainsi que les procédures d'AQ/CQ.

4.7 PRODUCTION DE ZINC

4.7.1 Introduction

PROCÉDÉS DE PRODUCTION PRIMAIRE

Il y a trois types de production de zinc primaire. La première méthode est un procédé métallurgique appelé distillation électrothermique. Le procédé est utilisé pour combiner un contré rôti et des produits secondaires de zinc dans une alimentation d'agglomérat brûlé pour enlever le zinc, les halides, le cadmium et d'autres impuretés. L'aggloméré de zinc riche en oxyde est combiné avec du coke métallurgique dans un four électrique à corne qui réduit les oxydes de zinc et produit du zinc vaporisé qui est capturé dans un condensateur à vide. La réduction cause le relâchement d'émissions non énergétiques de gaz carbonique (CO₂). Le procédé de distillation électrothermique est utilisé aux Etats-Unis et au Japon. (Sjardin, 2003 ; Bureau Européen de la PRIP, 2001)

La seconde méthode de production de zinc est un procédé pyrométallurgique impliquant l'utilisation d'un four « Imperial Smelting » permettant le traitement simultané des concentrés de plomb et de zinc. Le procédé résulte en la production simultanée de plomb et de zinc et le relâchement d'émissions de CO₂ non énergétiques. Le réducteur de coke métallurgique/charbon utilisé dans ce procédé doit être alloué à la production de plomb et de zinc afin d'effectuer un calcul d'émissions sans double comptage. Une allocation basée sur la masse donne le résultat d'un facteur de 0,74 tonnes de cok/tonne de zinc. (Sjardin, 2003 ; Bureau Européen de la PRIP, 2001)

La troisième méthode de production de zinc est le procédé électrolytique, qui est une technique hydrométallurgique. Dans ce procédé, le sulfite de zinc est calciné, ayant pour résultat la production d'oxyde de zinc. L'oxyde de zinc est alors lixivé en acide sulfurique et purifié pour enlever les impuretés de fer, de cuivre et de cadmium. Le zinc est ensuite extrait de la solution par électrolyse. Le procédé électrolytique ne provoque pas d'émissions non énergétiques de CO₂. (Sjardin, 2003 ; Bureau Européen de la PRIP, 2001)

PROCÉDÉS DE PRODUCTION SECONDAIRE

Il y a plus de 40 technologies hydrométallurgiques et pyrométallurgiques utilisables pour récupérer du zinc métallique de divers matériaux. La méthode préférée pour une situation donnée dépend de la source de zinc (niveau de contamination et concentration de zinc) et de l'utilisation finale désirée pour le zinc récupéré. Le procédé consiste souvent en concentration de zinc (par séparation physique et/ou chimique), agglomération, fusion et raffinement. Dans certains cas, le zinc de haut grade est retiré de ce procédé après concentration physique et est consommé par d'autres industries, y compris la fabrication sidérurgique, la fabrication de cuivre et le moulage de zinc, sans passer par le reste des étapes du procédé. (Sjardin, 2003)

Les étapes d'agglomération, de fusion et de raffinage sont identiques à celles utilisées dans le procédé de production de zinc primaire, donc certains procédés de fusion sont considérés comme émissifs, alors que les étapes d'agglomération et de raffinage sont considérées comme non émissives du point de vue des émissions de CO₂. Quand l'étape de concentration implique l'utilisation d'un réducteur à contenu carbonique et de hautes températures pour volatiliser ou fumiger le zinc à partir des matériaux de source, le procédé pourrait provoquer des émissions de CO₂ non énergétiques. Les procédés de four Waelz et la réduction de scories ou la fumigation sont deux méthodes de concentration. Le procédé du four Waelz, utilisé pour concentrer le zinc en poussières de carneau, en dépôts, en scories ou en autres matériaux contenant du zinc, implique l'utilisation de coke métallurgique comme réducteur. Toutefois, le zinc réduit est réoxydé pendant le procédé et le coke métallurgique sert aussi comme source de chaleur pendant le procédé. Le procédé de réduction de scories ou de fumigation, utilisé strictement pour concentrer le zinc des scories fondues de la fusion de cuivre et de zinc, implique l'utilisation de charbon ou d'une autre source de carbone en guise de réducteur (Sjardin, 2003 ; Bureau Européen de la PRIP, 2001).

4.7.2 Questions méthodologiques

4.7.2.1 CHOIX DE LA MÉTHODE

Les *Directives du GIEC* décrivent plusieurs approches pour le calcul des émissions de CO₂ de la production de plomb. Le choix d'une *bonne pratique* dépend des circonstances nationales tel qu'il est montré dans le diagramme décisionnel dans la figure 4.16. La méthode de niveau 3 peut être employée si des données mesurées sur les émissions spécifiques aux usines sont disponibles. La méthode de niveau 2 utilise des facteurs d'émission spécifiques aux pays pour les procédés de production primaires et secondaires. La méthode de niveau 1 est très

simple et elle peut mener à des erreurs dues à sa dépendance sur des suppositions plutôt que sur des données réelles. La méthode de niveau 1 calcule les émissions à partir de facteurs d'émission généraux appliqués à la production totale de zinc d'un pays et est la méthode la moins rigoureuse. Cette méthode devrait être employée uniquement quand la production de zinc n'est pas une *catégorie clé*.

MÉTHODE DE NIVEAU 1

L'estimation la plus simple consiste à multiplier les facteurs d'émission par défaut par type de produit de zinc (équation 4.33). Lorsque les seules données disponibles sont des statistiques nationales de production de zinc, les bonnes pratiques recommandent d'utiliser les facteurs d'émission par défaut. Si les données spécifiques aux matériaux ne sont pas disponibles pour calculer les émissions par la méthodologie de niveau 2, mais que le type de procédé est connu, les compilateurs d'inventaires peuvent calculer les émissions en utilisant l'équation 4.34.

ÉQUATION 4.33
ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION DE ZINC (NIVEAU 1)

$$E_{CO_2} = Zn \bullet FE_{\text{défaut}}$$

Où :

E_{CO_2} = émissions de CO₂ de la production de zinc, tonnes

Zn = quantité de zinc produite, tonnes

$FE_{\text{défaut}}$ = facteur d'émission par défaut, tonnes CO₂/tonne de *zinc* produite

ÉQUATION 4.34
ÉMISSIONS DE CO₂ DE LA PRODUCTION DE ZINC (NIVEAU 1)

$$E_{CO_2} = ET \bullet FE_{ET} + PM \bullet FE_{PM} + WK \bullet FE_{WK}$$

Où :

E_{CO_2} = émissions de CO₂ de la production de zinc, tonnes

ET = quantité de zinc produite par distillation électrothermique, tonnes

FE_{ET} = facteur d'émission pour la distillation électrothermique, tonnes CO₂/tonne de *zinc* produite

PM = quantité de zinc produite par le procédé pyrométallurgique (procédé du four « Imperial Smelting »), tonnes

FE_{PM} = facteur d'émission pour le procédé pyrométallurgique, tonnes CO₂/tonne de zinc produite

WK = quantité de zinc produite par le procédé de Wael Kiln, tonnes

FE_{WK} = facteur d'émission pour le procédé de Wael Kiln, tonnes CO₂/tonne de zinc produite

MÉTHODE DE NIVEAU 2

Les émissions peuvent être calculées en utilisant des facteurs d'émission spécifiques aux pays basés sur des statistiques agrégées au niveau des usines sur l'utilisation d'agents réducteurs, de types de fours et d'autres matériaux de procédé intéressants, qui sont développés sur la base de facteurs d'émission par défaut applicables à ces matériaux. Ces données peuvent être disponibles auprès d'agences gouvernementales responsables des statistiques de fabrication ou d'énergie, des associations d'entreprises ou de commerce industriel ou d'entreprises de zinc individuelles. Le niveau 2 est plus exact que le niveau 1 parce qu'il tient compte des matériaux et de la variété de types de fours utilisés dans le secteur du zinc qui contribuent aux émissions de CO₂ pour un pays en particulier plutôt que de supposer les pratiques de l'industrie.

MÉTHODE DE NIVEAU 3

Si des données réelles de mesures d'émissions de CO₂ sont disponibles auprès d'usines de zinc, elles peuvent être agrégées pour être comptabilisées dans les émissions nationales de CO₂ en utilisant la méthode de niveau 3.

4.7.2.2 CHOIX DES FACTEURS D'ÉMISSION

MÉTHODE DE NIVEAU 1

Le facteur d'émission pour le procédé pyrométallurgique (four « Imperial Smelting ») est un facteur d'émission agrégé et pondéré couvrant à la fois la production de zinc primaire et secondaire d'Europe (Sjardin, 2003). Aucune donnée n'était disponible pour déterminer un facteur d'émission pour le procédé électrothermique. Un facteur d'émission basé sur la quantité de coke consommée par tonne de poussier de FEA consommée dans un four Waelz Kiln a été développé sur le bilan de matériaux fourni par Viklund-White (2000), où Viklund-White trouve que 400 kg de coke sont consommés pour chaque tonne métrique de poussier de FEA consommée.

Proc(C)dC)	Facteur d'émission	Source
Four Waelz (tonne de CO ₂ /tonne de zinc)	3,66	Dérivé de Viklund-White C. (2000), L'Utilisation de LCA pour l'évaluation environnementale du recyclage d'acier galvanisé. ISIJ International. Volume 40 No. 3: 292-299.
Pyrométallurgique (four « Imperial Smelting ») (tonne de CO ₂ /tonne de zinc)	0,43	Sjardin, 2003. Facteurs d'émission de CO ₂ pour l'utilisation non énergétique dans les métaux non ferreux, les ferroalliages et l'industrie inorganique. Institut Copernic, Utrecht, Pays-Bas. Juin 2003.
Électrothermique	Inconnu	
Facteur par défaut (tonne de CO ₂ /tonne de zinc)	1,72	Le facteur par défaut se base sur la pondération de facteurs d'émission inconnus (60% « Imperial Smelting », 40% four Waelz)

MÉTHODE DE NIVEAU 2

La méthode de niveau 2 nécessite le calcul d'un facteur d'émission spécifique au pays basé sur la quantité totale d'agents réducteurs et d'autres matériaux de procédé à contenu carbonique utilisés pour la production de zinc dans le pays. Ces facteurs d'émission spécifiques aux pays devraient être basés sur des statistiques agrégées d'usines sur l'utilisation d'agents réducteurs, de types de fours et d'autres matériaux de procédé intéressants. Un facteur d'émission a été développé sur la base de la quantité de coke métallurgique consommée par tonne de poussier de FEA consommée : 0,4 tonnes de coke/tonne de poussier de FEA consommée (Viklund-White, 2000). Si des données sur les activités sont disponibles, un facteur d'émission de 1,23 tonnes de poussier de FEA par tonne de zinc peut alors être utilisé pour calculer les émissions. Lors de la production de zinc à partir de poussier de FEA dans un four Waelz Kiln, les complexités du procédé suggèrent que les facteurs d'émission sont plus exacts s'ils sont basés sur la quantité de poussier de FEA consommée plutôt que sur le zinc total produit. Ceci est le cas parce que la quantité de matériaux de réduction (coke métallurgique) consommée est directement dépendante de la quantité, et le contenu en zinc, du poussier de FEA consommé. De l'équipement de pesage est utilisé dans le procédé Waelz Kiln pour contrôler la quantité de coke métallurgique introduite dans le four (Sjardin, 2003 ; Bureau Européen de la PRIP, 2001).

4.7.2.3 CHOIX DES DONNÉES SUR LES ACTIVITÉS

MÉTHODE DE NIVEAU 1

La méthode de niveau 1 nécessite uniquement la quantité de zinc produite dans le pays et, s'il est disponible, le type de procédé. Ces données peuvent être disponibles auprès d'agences gouvernementales responsables des statistiques de fabrication, des associations d'entreprises ou de commerce industriel ou d'entreprises de zinc individuelles. Ces tonnages peuvent alors être multipliés par les facteurs d'émission par défaut pour estimer les émissions de CO₂.

MÉTHODE DE NIVEAU 2

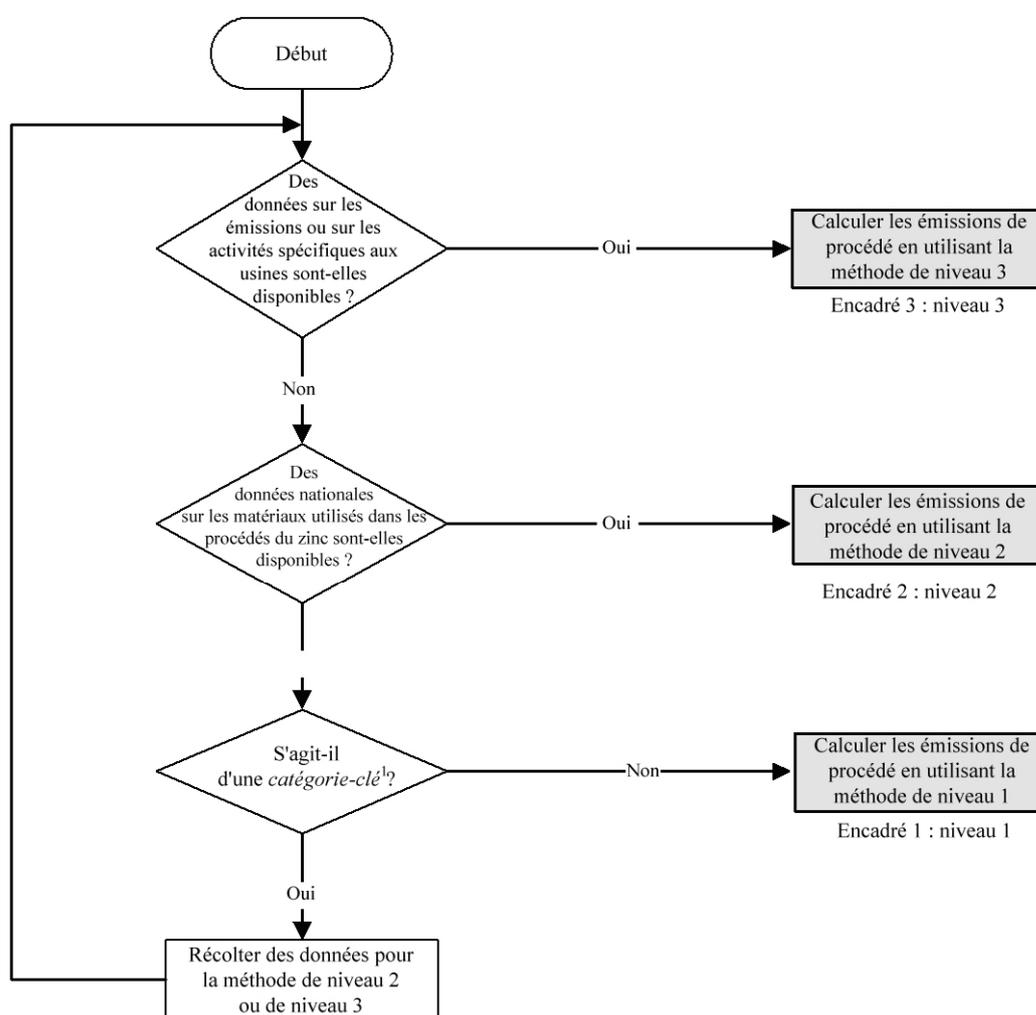
La méthode de niveau 2 nécessite le calcul d'un facteur d'émission spécifique au pays basé sur la quantité totale d'agents réducteurs et d'autres matériaux de procédé à contenu carbonique utilisés pour la production de zinc dans le pays. Ces données peuvent être disponibles auprès d'agences gouvernementales responsables des

statistiques de fabrication ou d'énergie, des associations d'entreprises ou de commerce industriel ou d'entreprises de zinc individuelles. Ces facteurs d'émission spécifiques aux pays peuvent alors être multipliés par la quantité de production pour déterminer l'émission totale de CO₂ du secteur. S'il ne s'agit pas d'une *catégorie clé* et que les données pour les agents réducteurs et les matériaux de procédé totaux pour l'ensemble de l'industrie ne sont pas disponibles, les émissions peuvent être estimées en utilisant le niveau 1.

MÉTHODE DE NIVEAU 3

La méthode de niveau 3 nécessite la récolte, la compilation et l'agrégation de données mesurées sur les activités spécifiques aux usines, s'il en est. Toutefois, la récolte de données sur les activités au niveau des usines peut aussi être utilisée, avec des facteurs d'émission séparés pour chaque usine multipliés par la production spécifique de chaque usine. S'il ne s'agit pas d'une *catégorie clé* et que les données pour les agents réducteurs et les matériaux de procédé totaux pour l'ensemble de l'industrie ne sont pas disponibles, les émissions peuvent être estimées en utilisant le niveau 1.

Figure 4.16 Diagramme décisionnel pour l'estimation d'émissions de CO₂ de la production de zinc



Note :

1. Voir chapitre 4 du volume 1, choix méthodologiques et identification de catégories-clé (prendre note de la section 4.1.2 sur les ressources limitées), pour la discussion des *catégories-clé* et de l'utilisation de diagrammes décisionnels.

4.7.2.4 EXHAUSTIVITÉ

En estimant les émissions de cette catégorie de source, il existe un risque de double comptage ou d'omission aussi bien dans le procédé industriel que dans le secteur de l'énergie. Il est important de noter que le facteur d'émission de niveau 1 suppose que les émissions de CO₂ de la combustion de divers carburants utilisés pour la production de chaleur dans les procédés de calcination, d'agglomération, de dégorgeage, de fusion de purification et de raffinage sont capturés dans la catégorie des émissions de CO₂ de la combustion de carburants fossiles. En utilisant les méthodologies de niveaux 2 et 3, le double comptage peut être évité. La plus grande source de double comptage potentielle, les émissions de la production de coke, est calculée dans la section 4.2 et rapportée dans le secteur de l'énergie.

4.7.2.5 DÉVELOPPEMENT D'UNE SÉRIE TEMPORELLE COHÉRENTE

Les émissions de la production de zinc devraient être calculées en utilisant la même méthode pour chaque année de la série temporelle. Lorsque les données pour soutenir une méthode de niveau 3 pour toutes les années de la série temporelle ne sont pas disponibles, les bonnes pratiques recommandent de recalculer ces lacunes selon les directives fournies dans le volume 1, « Directives générales et établissement de rapports ».

4.7.3 Évaluation des incertitudes

Les incertitudes d'estimations de la production de zinc résultent avant tout d'incertitudes associées aux données sur les activités et de l'incertitude liée aux facteurs d'émission. Le tableau 4.25 fournit un aperçu des incertitudes pour des facteurs d'émission et des données sur les activités.

4.7.3.1 INCERTITUDES DES FACTEURS D'ÉMISSION

Les facteurs d'émission utilisés dans le niveau 1 peuvent avoir une incertitude $\pm 50\%$. Les facteurs d'émission de niveau 2 spécifiques aux pays auront vraisemblablement une incertitude de $\pm 15\%$. L'incertitude du facteur d'émission de niveau 3 sera vraisemblablement dans les 5% si les données de contenu carbonique spécifiques aux usines sont disponibles.

4.7.3.2 INCERTITUDES DES DONNÉES SUR L'ACTIVITÉ

Les statistiques nationales de production devraient être disponibles et avoir une incertitude vraisemblable de $\pm 10\%$. Pour le niveau 2, la quantité totale d'agents réducteurs et de matériaux de procédé utilisés pour la production de plomb sera vraisemblablement dans une limite de 10%. Les données de niveau 3 sur les émissions réelles devront avoir une incertitude de $\pm 5\%$.

Méthode	Source de données	Plage d'incertitude
Niveau 1	Données de production nationales	$\pm 10\%$
	Facteurs d'émission par défaut	$\pm 50\%$
	Facteurs d'émission spécifiques aux procédés	$\pm 20\%$
Niveau 2	Données nationales d'agents réducteurs et de matériaux de procédés	$\pm 10\%$
	Facteurs d'émission spécifiques au pays	$\pm 15\%$
Niveau 3	Données sur les matériaux de procédés dérivées des entreprises	$\pm 5\%$
	Données de CO ₂ mesuré spécifiques aux usines	$\pm 5\%$
	Facteurs d'émission spécifiques aux usines	$\pm 5\%$

4.7.4 Assurance qualité / contrôle qualité (AQ/CQ), établissement de rapports et documentation

4.7.4.1 ASSURANCE QUALITÉ / CONTRÔLE QUALITÉ (AQ/CQ)

Les bonnes pratiques recommandent d'effectuer des vérifications du contrôle qualité comme souligné dans le chapitre 6 du volume 1 et une révision experte des estimations d'émissions. En plus des directives du volume 1, des procédures spécifiques pertinentes de catégories sources sont présentées ci-dessous :

Révision des facteurs d'émission

Les compilateurs d'inventaire devraient comparer les facteurs d'émission nationaux agrégés avec le facteur d'émission par défaut du GIEC de manière à déterminer si le facteur national est raisonnable par rapport à la valeur par défaut du GIEC. Des différences significatives entre les facteurs nationaux et le facteur par défaut devraient être expliquées et documentées, surtout si elles sont représentatives de circonstances différentes.

Vérification des données sur les activités spécifiques au site

Pour des données spécifiques au site, les compilateurs d'inventaire devraient revoir des incohérences entre les sites pour établir si elles reflètent des erreurs, des techniques de mesure différentes, ou si elles résultent de différences réelles en émissions, en conditions d'opération ou en technologie. Pour la production de zinc, les compilateurs d'inventaire devraient comparer les données d'usine avec d'autres usines.

Les compilateurs d'inventaire devraient s'assurer que les facteurs d'émission et les données sur les activités sont développés en accord avec des méthodes de mesure internationalement reconnues et prouvées. Si les pratiques de mesures ne respectent pas ce critère, l'utilisation de ces facteurs d'émission ou de ces données sur les activités devrait être évaluée avec attention, les estimations d'incertitude reconsidérées et les qualifications documentées. S'il existe un standard élevé de mesure et qu'une AQ/CQ est en place sur la majorité des sites, l'incertitude des estimations d'émissions pourra être revue à la baisse.

Examen d'experts

Les compilateurs d'inventaire devraient inclure des organisations clé de commerce industriel associées à la production de zinc dans un procédé de révision. Ce procédé devrait débuter tôt dans le développement d'inventaire pour fournir l'entrée au développement, à l'examen de méthodes et à l'acquisition de données.

Des examens de tiers peuvent aussi être utiles pour cette catégorie de source, en particulier en rapport avec la récolte initiale de données, la transcription, les calculs et la documentation.

Vérification des données sur les activités

Pour tous les niveaux, les compilateurs d'inventaire devraient vérifier afin de s'assurer que les émissions des agents réducteurs et matériaux de procédé (charbon, coke, gaz naturel, etc.) ne sont pas doublement comptés comme émissions liées à l'énergie ou omises.

Les compilateurs d'inventaire devraient examiner toute incohérence entre les données de différentes usines pour établir si elles reflètent des erreurs, des techniques de mesure différentes, ou si elles résultent de différences réelles en émissions, en conditions d'opération ou en technologie. Ceci est particulièrement valable concernant les estimations spécifiques aux usines de quantités d'agents réducteurs ou les contenus carboniques rapportés de matériaux de procédé.

Les compilateurs d'inventaire devraient comparer des agrégations d'estimations au niveau des usines aux totaux de l'industrie pour la consommation de matériaux de procédé lorsque de telles données commerciales sont disponibles.

4.7.4.2 ÉTABLISSEMENT DE RAPPORTS ET DOCUMENTATION

Les bonnes pratiques recommandent de documenter et d'archiver toute l'information requise pour produire les estimations d'inventaire d'émissions nationales, comme souligné dans le volume 1 de la section 6.11. Il n'est guère pratique d'inclure toute la documentation dans le rapport d'inventaire national. Cependant, l'inventaire devrait inclure des résumés des méthodes utilisées et des références à des données source de sorte que les estimations d'émissions rapportées soient transparentes et que les étapes de leur calcul puissent être retracées.

MÉTHODE DE NIVEAU 1

Hormis l'établissement de rapports d'émissions, les bonnes pratiques recommandent de rapporter la production totale de zinc par procédé et les facteurs d'émission correspondants utilisés.

MÉTHODE DE NIVEAU 2

La *bonne pratique* est de documenter les émissions calculées ou estimées, toute donnée sur les activités et les facteurs d'émission correspondants ainsi que toute supposition ou donnée justifiant des facteurs d'émission alternatifs.

MÉTHODE DE NIVEAU 3

La *bonne pratique* est de documenter les émissions calculées et toutes les données de source, en prenant en compte le besoin de protéger la confidentialité des données pour des usines spécifiques si elles sont sensibles à l'entreprise ou de nature propriétaire. De plus, les compilateurs d'inventaire devraient – et ce pour tous les niveaux – documenter toute information nécessaire pour reproduire l'estimation, ainsi que les procédures d'AQ/CQ.

Références

SECTION 4.2

- EEA (2005). EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook – 2005, European Environment Agency, Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site see: <http://reports.eea.eu.int/EMEP/CORINAIR4/en>
- European IPPC Bureau (2001). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, December 2001. <http://eippcb.jrc.es/pages/FAactivities.htm>
- International Iron and Steel Institute (2004). Steel Statistical Yearbook 2004: International Iron and Steel Institute, COMMITTEE ON ECONOMIC STUDIES, Brussels.
- Pipatti, R. (2001). Greenhouse Gas Emissions and Removals in Finland, Report No. 2094, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, 2001. <http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2094.pdf>
- Schoenberger, H. (2000). European Conference on “The Sevilla Process: A Driver for Environmental Performance in Industry” Stuttgart, 6 and 7 April 2000, BREF on the Production of Iron and Steel - conclusion on BAT, Dr. Harald Schoenberger, Regional State Governmental Office Freiburg, April 2000.

SECTION 4.3

- FFF (2000). The Norwegian Ferroalloy Producers Research Association, “Emission factors standardized at meeting”, Oslo 2000.
- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- Lindstad, T. (2004). ‘CO₂ Emissions from the Production of Silicon Alloys’, STF80A04019, SINTEF, Trondheim 2004.
- Olsen, S.E., Monsen, B.E. and Lindstad, T. (1998). ‘CO₂ Emissions from the Production of Manganese and Chrome Alloys in Norway’, Electric Furnace Conference Proceedings Vol. 56, Iron & Steel Society, Warrendale PA 1998, pp 363-369.
- Olsen, S.E. (2004). ‘CO₂ Emissions from the Production of Manganese Alloys in Norway’, STF80A04010, SINTEF, Trondheim 2004.

SECTION 4.4

- IAI (2000). International Aluminium Institute, International Aluminium Institute (2000) ‘Life Cycle Assessment of Aluminium’
- IAI (2001). International Aluminium Institute, Perfluorocarbon Emissions Reduction Programme 1990 - 2000, 2001, available at <http://www.world-aluminium.org/iai/publications/documents/pfc2000.pdf>.
- IAI (2005a). International Aluminium Institute, The Aluminium Sector Greenhouse Gas Protocol, http://www.world-aluminium.org/environment/climate/ghg_protocol.pdf, 2005.
- IAI (2005b). International Aluminium Institute, survey on composition of production materials, 2005 (unpublished)
- IAI (2005c). International Aluminium Institute, Annual Anode Effect Survey 2003, www.world-aluminium.org, 2005.
- U.S. EPA and IAI (2003), U.S. Environmental Protection Agency and International Aluminium Institute, USEPA/IAI Protocol for Measurement of PFCs from Primary Aluminium Production, EPA 43-R-03-006, May 2003.

SECTION 4.5

- Bartos, S., Kantamaneni, R., Marks, J. and Laush, C. (2003). "Measured SF₆ Emissions from Magnesium Die Casting Operations," Magnesium Technology 2003, Proceedings of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS) Conference, March 2003.
- Gjestland, H. and Magers, D. (1996). "Practical usage of sulphur hexafluoride for melt protection in the magnesium die casting industry" Proceedings of the 53rd International Magnesium Conference, 1996, Ube City, Japan
- IPCC (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- Milbrath, D. (2002). "Development of 3M™ Novec™ 612 Magnesium Protection Fluid as a Substitute for SF₆ Over Molten Magnesium," International Conference on SF₆ and the Environment: Emission Reduction Technologies, November 21-22, 2002, San Diego, CA.
- Tranell, G and Engh, T.A. (2004). "Alternatives to SF₆ for the Magnesium Processor – A Technical, Environmental and Economic Assessment", Proceedings of the 61st Annual International Magnesium Association Conference, May 2004, New Orleans, LA, USA.

SECTION 4.6

- DOE (2002). Mining Industry of the Future: Energy and Environmental Profile of the U.S. Mining Industry. Prepared by BCS, Inc for the U.S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, December 2002.
- LDA (2002). Technical Notes: Primary Extraction of Lead., Lead Development Association International. Internet: <http://www.ldaint.org/technotes1.htm>
- Metallurgical Industry (1995). AP 42, Fifth Edition, Volume I, Chapter 12, <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/index.html>
- Sjardin, M. (2003). CO₂ Emission Factors for Non-Energy Use in the Non-Ferrous Metal, Ferroalloys and Inorganics Industry. Copernicus Institute, Utrecht, The Netherlands, June 2003.

SECTION 4.7

- European IPPC Bureau (2001). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Non Ferrous Metals Industries, December 2001. <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>
- Sjardin, M. (2003). CO₂ Emission Factors for Non-Energy Use in the Non-Ferrous Metal, Ferroalloys and Inorganics Industry. Copernicus Institute, Utrecht, The Netherlands, June 2003.
- Viklund-White C. (2000). The Use of LCA for the Environmental Evaluation of the Recycling of Galvanized Steel. *ISIJ International*. Volume 40 No. 3: 292-299.