



**Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement
Direction de la prévention des pollutions et des risques
Service de l'Environnement Industriel / Bureau de la pollution atmosphérique,
des équipements énergétiques et des transports**

GUIDE METHODOLOGIQUE

RELATIF AU CONTROLE DES DECLARATIONS DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE

**Application de l'article 62
de l'arrêté du 2 février 1998 modifié**

Avril 2002

(Guide réalisé en concertation avec les représentants des différentes industries, révisable à la suite de l'évolution des connaissances et des nouveaux travaux de cette concertation)

S O M M A I R E

	Pages
1 - Introduction	3
2 - Méthodologie pour le contrôle des émissions	5
3 - Emissions issues de la combustion	7
3.1 - Emissions de CO₂	7
3.2 - Emissions de N₂O et CH₄	8
4 - Emissions de CO₂ et CH₄ des procédés industriels	10
4.1 - Méthodologie	10
4.2 - Fabrication de métaux (acier, fer, aluminium)	10
4.3 - Verreries	13
4.4 - Cimenteries	14
4.5 - Papeteries	14
4.6 - Raffineries de pétrole	15
4.7 - Industrie chimique	16
4.7.1 - Fabrication d'ammoniac	15
4.7.2 - Fabrication de carbure de calcium	16
4.7.3 - Fabrication d'autres substances chimiques	
(noir de carbone, éthylène, styrène...)	17
5 - Emissions de N₂O des procédés industriels	18
6 - Emissions de gaz fluorés (HFC, PFC, NF₃, SF₆)	19
Sources	25
ANNEXE :	20
- Tableaux relatifs aux PCI, aux facteurs d'émission de carbone, de méthane et de protoxyde d'azote, au degré d'oxydation du carbone.	

1. INTRODUCTION

Objectifs. Le présent guide a pour objet d'apporter des éléments méthodologiques aux inspecteurs des installations classées pour le contrôle des déclarations des émissions de gaz à effet de serre faites par les exploitants en application notamment de l'article 62 de l'arrêté du 2 février 1998. En effet, plusieurs arrêtés ministériels, comme l'arrêté du 2 février 1998 mais également l'arrêté du 14 mai 1993 relatif à l'industrie du verre, font obligation aux exploitants de transmettre chaque année aux préfets un bilan de leurs émissions de gaz à effet de serre au-delà de certains seuils.

Ce guide fournit des éléments aux inspecteurs des installations classées pour vérifier le caractère complet et la qualité des déclarations ; il rappelle en particulier les méthodes de base pour la quantification des émissions. Ce guide pourra également être utile aux exploitants qui pourront s'appuyer sur les éléments méthodologiques qu'il présente pour effectuer leur déclaration.

Champ. Dans sa version actuelle, le guide ne porte que sur les émissions de gaz à effet de serre dues à la combustion et à la mise en œuvre de procédés industriels dans l'industrie manufacturière. Ce guide sera complété pour devenir l'un des outils d'application de l'arrêté ministériel en projet relatif à la déclaration annuelle des émissions polluantes des installations classées soumises à autorisation. En effet, la collecte des données relatives aux émissions de gaz à effet de serre fera alors partie d'un ensemble plus vaste s'appliquant à l'ensemble des polluants visés par la décision « EPER ».

En tout état de cause le présent document est indicatif et évolutif : il a vocation à être précisé en fonction de l'évolution des connaissances, des nouvelles études produites, et des discussions intervenant avec les représentants des industries.

Sources d'information. Les techniques d'estimation des émissions préconisées dans ce guide reposent sur les lignes directrices du GIEC (Groupement Intergouvernemental de l'Etude du Climat), adaptées en tant que besoin par les protocoles professionnels. Les informations de ce guide sont cohérentes avec celles du protocole de mesure et de reporting établi par Entreprises pour l'environnement, adaptation française du GHG protocol. Les facteurs d'émission proprement dits, ceux présentés en annexe de ce guide ont été mis au point avec le CITEPA sur la base de ceux du GIEC. Ils correspondent à des moyennes nationales par secteur d'activité. Lorsque l'entreprise dispose de facteurs d'émission qu'elle a pu déterminer sur place, ces derniers sont préférables.

Description des chapitres. Le chapitre 3 porte sur les émissions liées à la combustion d'énergie. Ce chapitre concerne tous les secteurs industriels recourant à la combustion pour la fabrication de leurs produits. La combustion se traduit par des émissions de gaz carbonique, de méthane et de protoxyde d'azote.

Les chapitres 4, 5 et 6 portent sur les émissions liées aux procédés industriels. En plus de la combustion d'énergie, des émissions de CO₂ peuvent être liées aux procédés industriels (par exemple dans l'industrie des métaux, du papier, etc). En outre, certains procédés industriels émettent des gaz à effet de serre tels que N₂O, HFC, PFC, SF₆, qui figurent dans le panier de gaz à effet de serre de Kyoto.

2. METHODOLOGIE POUR LE CONTROLE DES DECLARATIONS

Pour le calcul des émissions liées à son activité, l'exploitant dispose de plusieurs moyens :

- la mesure du polluant et du débit des effluents de façon continue ou périodique,
- le bilan matière qui consiste à calculer les émissions de polluants à partir des quantités de matière qui sont les mieux connues (en ce qui concerne le CO₂ d'origine énergétique, c'est le bilan de combustibles utilisés),
- les techniques de corrélation qui lient les émissions du polluant considéré à un paramètre représentatif de ce polluant plus facile ou moins coûteux à mesurer,
- des facteurs d'émissions liant les émissions à un paramètre connu tel que la production ou l'utilisation de matières premières ; les facteurs d'émissions sont souvent basés sur des bilans matière ou sur des mesures réalisées de manière ponctuelle sur des installations ; ils permettent, en l'absence de données d'émissions relatives au polluant, de quantifier les émissions à partir de la consommation de matières premières ou de la production.

La mesure est employée pour les émissions de protoxyde d'azote émis lors de certains procédés de l'industrie chimique. En revanche, elle est rarement utilisée pour les émissions de dioxyde de carbone, et de méthane. Ce fait conduit à privilégier les autres méthodes de quantification des émissions de gaz à effet de serre.

Pour le contrôle des bilans, l'inspection devra examiner en priorité les bilans des établissements qui représentent les plus fortes émissions en termes de pouvoir de réchauffement global.

Pour le contrôle d'un bilan particulier, l'inspection devra en premier lieu s'assurer que l'ensemble des procédés potentiellement émetteurs de gaz à effet de serre ont bien été pris en compte par l'exploitant. Il devra également s'assurer que les émissions de gaz à effet de serre ne font pas l'objet d'un double compte.

Ces préalables étant remplis, l'inspection évaluera ensuite la qualité des données qui lui sont transmises par l'exploitant pour justifier de l'estimation des émissions de gaz à effet de serre. Les méthodes ci-dessus peuvent être classées par ordre de certitude décroissante. Toutefois, cet ordre dépend de la substance et du procédé considéré.

Bien que le bilan matière soit généralement le plus précis, il nécessite d'avoir accès à la consommation de matières premières ainsi qu'à leur composition. Ceci peut conduire l'inspection à demander des analyses complémentaires sur la composition des matières premières.

Le type d'estimation à mettre en œuvre doit être adapté au polluant. Ainsi, pour les émissions de dioxyde de carbone et la plupart des gaz fluorés à effet de serre, un bilan matière est souvent de nature à fournir des informations très précises sur les émissions.

Pour d'autres polluants, notamment le protoxyde d'azote et le méthane, les émissions liées à la combustion sont très liées au procédé de production et il est nécessaire soit de recourir à la mesure soit de faire appel à des facteurs d'émissions.

Le choix d'une méthode doit également être fondé sur la connaissance de l'installation. Par exemple, les émissions de perfluorocarbones devront être calculées à partir d'un bilan matière pour l'industrie des semi-conducteurs et de facteurs d'émissions pour ce qui concerne la première fusion de l'aluminium. Ainsi, suivant le secteur, une méthode est à privilégier par rapport à une autre. L'exploitant apportera les éléments précis d'explication des méthodes qu'il emploie.

A titre indicatif, les méthodes suivantes peuvent être recommandées pour l'estimation des émissions :

	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	HFC	PFC	SF ₆	NF ₃
Bilan	X			X	X	X	X
Mesure	X	X	X	X	X	X	X
Corrélation	X	X	X				
Facteurs d'émissions	X	X	X				

Les facteurs d'émissions sont très variables suivant le procédé utilisé ou l'état des équipements. Un certain nombre d'entreprises mettent en œuvre des mesures ponctuelles des émissions de gaz à effet de serre afin de calculer les facteurs d'émissions qui sont propres au site. Des facteurs d'émissions par défaut, jugés représentatifs de la situation nationale moyenne sont fournis à titre indicatif en annexe comme il a été indiqué ci-dessus. Ces facteurs d'émission pourront être comparés par l'inspecteur avec les facteurs d'émissions proposés par l'industriel.

3. EMISSIONS ISSUES DE LA COMBUSTION

Ce chapitre concerne un grand nombre d'activités : installations de combustion, raffineries, métallurgie, chimie, cimenteries, verrerie, pour lesquels le procédé implique notamment des opérations en haute température et une combustion d'énergie pour le chauffage du four.

Pour ce qui concerne le contrôle des déclarations des émissions liées à la combustion, en plus de ses émissions de gaz à effet de serre, l'industriel devra déclarer sa consommation de combustible détaillée par combustible, fournir les pouvoirs calorifiques inférieurs (PCI) de chaque combustible utilisé et les facteurs d'émission de carbone, de méthane et de protoxyde d'azote.

Le contrôle de l'inspecteur pourra s'exercer à plusieurs niveaux :

- un contrôle de vraisemblance,
- un contrôle approfondi de la déclaration.

Pour ce qui concerne le premier point, l'inspecteur examinera en premier lieu la cohérence de la quantité de combustible utilisé avec le nombre d'heures de fonctionnement et la puissance de l'installation. Il examinera les PCI et les facteurs d'émissions utilisés vis à vis des PCI et facteurs d'émissions proposés par défaut, voire avec les factures de livraison de l'exploitant. La comparaison des écarts constatés d'une année sur l'autre peut permettre de déceler des situations anormales et déclencher une demande de renseignements complémentaires si les raisons ne sont pas déjà connues de l'inspecteur.

Pour ce qui concerne un contrôle plus approfondi, l'inspecteur pourra demander à l'exploitant les analyses de PCI justifiant les valeurs de PCI retenues, les analyses de teneur en carbone justifiant d'un facteur d'émission, les bons de commandes de l'installation pour ce qui concerne l'achat de combustibles. Ces informations seront fournies par l'exploitant le cas échéant via le questionnaire ci-joint.

Il est à noter que les émissions de dioxyde de carbone issues de la combustion de la biomasse doivent être déclarées. Toutefois, elles seront signalées à part afin d'en tenir compte en tant qu'énergie renouvelable. (Ainsi, le projet de directive fixant le cadre d'un échange de quotas d'émission au sein de la communauté a-t-il prévu que les émissions de gaz carbonique issues de la biomasse étaient prises en compte avec un facteur 0).

La combustion ou l'incinération des produits dérivés tels que gaz industriels ou déchets devra également être prise en compte (voir annexe tableau A1 facteurs d'émissions de l'incinération des déchets).

3.1 LES EMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE ISSUES DE LA COMBUSTION :

Pour ce qui concerne la combustion, les émissions de dioxyde de carbone peuvent être calculées avec une très grande précision à partir d'un bilan du carbone contenu dans le combustible. Le pouvoir calorifique inférieur et la teneur en carbone du combustible, nécessaires à ce calcul, peuvent être mesurés avec précision par l'exploitant ou obtenus auprès de son fournisseur.

Le calcul des émissions de dioxyde de carbone liées à l'utilisation énergétique des combustibles comporte 5 étapes qui peuvent faire l'objet des contrôles présentés ci-dessous par l'inspection des installations classées :

- détermination de la quantité de combustible consommée au cours de l'année N,
- calcul de la consommation énergétique à partir de la quantité de combustible consommée et du PCI du combustible (voir tableau A1 en annexe),
- calcul des émissions potentielles de carbone à partir de la consommation énergétique et des facteurs d'émissions de carbone (voir tableau A1 annexe),
- calcul du carbone réellement oxydé à partir des facteurs d'oxydation (voir tableau A2 en annexe),
- conversion du carbone oxydé en émissions de CO₂.

Exemple de calcul :

Soit une installation de combustion qui brûle 5 000 tonnes de fioul lourd par an, avec un PCI de 40 GJ/t, le calcul de ses émissions de CO₂ est le suivant :

Consommation énergétique = consommation de fioul lourd en tonnes x PCI du fioul lourd =
 $5\ 000 \times 40 = 200\ 000$ GJ

Calcul des émissions potentielles de carbone = consommation énergétique x facteur d'émission de carbone = $200\ 000 \times 21 = 4\ 200$ t de carbone

Correction pour combustion incomplète (C non oxydé) = teneur en carbone x facteur d'oxydation pour le combustible = $4\ 200 \times 0,99 = 4\ 158$ tonnes de carbone oxydé émis

Calcul des émissions de dioxyde de carbone = tonnage de carbone émis x masse molaire du dioxyde de carbone / masse molaire du carbone = $4\ 158 \times 44 / 12 = 15\ 246$ tonnes de dioxyde de carbone émis.

En l'absence de facteurs d'émissions de carbone pour un combustible donné dans le tableau A1, il pourra être demandé de fournir une analyse de PCI et de contenu en carbone du combustible soit obtenue auprès du fournisseur soit réalisée par l'exploitant.

3.2 LES EMISSIONS DE METHANE ET DE PROTOXYDE D'AZOTE :

Les émissions de protoxyde d'azote (N₂O) et de méthane (CH₄) liées à la combustion seront calculées à partir de la consommation d'énergie telle que calculée ci-dessus et des facteurs d'émissions spécifiques aux technologies utilisées.

L'estimation des émissions provenant de sources fixes peut être décrite en utilisant la formule suivante :

$$\text{Emissions} = \Sigma (\text{FE}_{AC} \times \text{Activité}_{AC})$$

Où

FE : Facteur d'émission (kg/TJ)

Activité : Energie entrante (TJ)

A : Type de combustible

C : Type de technologie

Le tableau A3 en annexe A fournit des facteurs d'émissions en fonction du combustible utilisé, du secteur d'activité et de la technologie utilisée.

Le calcul des émissions de méthane et de protoxyde d'azote comporte ainsi plusieurs étapes :

- calcul de la consommation énergétique (comme indiqué au paragraphe 1.2)
- sélection d'un facteur d'émission en fonction du combustible utilisé, du secteur d'activité et de la technologie utilisée (tableau A3 en annexe),
- calcul des émissions de protoxyde d'azote et de méthane comme le produit du facteur d'émissions choisi par la consommation énergétique.

Exemple de calcul :

Reprenons l'installation de combustion qui brûle 5 000 tonnes de fioul lourd par an, le calcul de ses émissions de méthane et de protoxyde d'azote est le suivant :

Consommation énergétique = consommation de fioul lourd en tonnes x PCI du fioul lourd =
 $5\,000 \times 40 = 200\,000$ GJ

Dans l'industrie, pour ce combustible, le tableau A3 donne des facteurs d'émissions de 3,0 g de CH₄/GJ et de 0,3 g de N₂O/GJ.

Calcul des émissions de méthane = consommation énergétique x facteur d'émission de méthane =
 $3,0 \times 200\,000 = 600$ kg de méthane

Calcul des émissions de protoxyde d'azote = consommation énergétique x facteur d'émission de protoxyde d'azote =
 $0,3 \times 200\,000 = 60$ kg de protoxyde d'azote.

En l'absence de facteurs d'émissions pour un procédé donné dans le tableau A3, il pourra être fait usage d'un facteur d'émission de 2,5 g/GJ pour le protoxyde d'azote.

4. EMISSIONS DE CO₂ ET DE CH₄ DES PROCÉDES INDUSTRIELS

4.1 METHODOLOGIE GENERALE

La méthodologie générale utilisée pour l'estimation des émissions liées à chacun des procédés industriels est le produit de la donnée du niveau d'activité, c'est à dire la quantité produite ou consommée de matériau, et d'un facteur d'émission par unité de consommation/production associée exprimé dans l'équation suivante :

$$\text{TOTAL}_{ijk} = A_{jk} \times \text{FE}_{ijk}$$

Où

TOTAL_{ijk} = émission (en tonnes) du procédé k, associé au gaz i provenant de l'installation j

A_{jk} = la quantité d'activité ou de production du matériau dans l'installation j par le procédé k (en unité caractéristique de l'activité, par exemple tonnes de produit fabriqué)

FE_{ijk} = facteur d'émission associé au gaz i par unité d'activité dans l'installation j, pour le procédé k (en tonnes/unité d'activité)

La précision de la quantification des émissions nécessite un facteur d'émission le plus proche possible de la réalité industrielle : il est donc préférable qu'il soit fourni par l'exploitant. Lorsque celui-ci n'est pas en mesure de le fournir, les facteurs d'émission par défaut ci-après (paragraphes 4.2 à 4.6) peuvent être utilisés en l'attente d'un facteur d'émission plus précis. Ces facteurs d'émission par défaut peuvent également servir pour contrôler les données brutes proposées par l'exploitant.

4.2 FABRICATION DE METAUX (acier, fer, aluminium)

Lors de la préparation de certains oxydes métalliques à partir de minerais comme le carbonate de zinc, ou la sidérite, la décomposition thermique des carbonates du minerai utilisé conduit à l'émission de dioxyde de carbone.

La production ou l'élaboration de métaux (fonte, aluminium) à partir des oxydes métalliques peut conduire à l'emploi d'agents réducteurs à fort contenu en carbone qui extraient l'oxygène de la matière première (exemple du coke utilisé pour enlever l'oxygène des oxydes de fer).

4.2.1 Emissions de CO₂ liées à l'utilisation d'agents réducteurs :

L'estimation des émissions de CO₂ pour tous les types de production de métal nécessite des informations sur la quantité d'agents réducteurs utilisés. Une fois cette quantité connue, soit l'exploitant calcule les émissions liées au procédé comme la quantité de CO₂ émise lors de la

combustion de l'agent réducteur, soit les facteurs d'émission par défaut ci-après peuvent être utilisés :

FACTEURS D'EMISSION POUR LE CO₂ ISSU DE LA PRODUCTION DE METAL (TONNE CO₂ / TONNE D'AGENT REDUCTEUR)	
Agent réducteur	Facteur d'émission
Charbon	2,5
Coke obtenu à partir du charbon	3,1
Coke de pétrole	3,6
Anodes précuites et électrodes de charbon	3,6

Exemple de la sidérurgie :

Soit un haut fourneau qui produit 50 000 tonnes de fonte par an.

Pour la sidérurgie, on utilise environ 450 kg de coke par tonne de fer (donnée indicative).

La réduction des oxydes de fer nécessite donc environ $450 \times 50\ 000 = 22\ 500$ t de coke

Les émissions liées à la combustion de ce coke peuvent être calculées ainsi :

Contenu énergétique = consommation de coke x pouvoir calorifique inférieur (tableau A1)
 $= 22\ 500 \times 32 = 720\ 000$ GJ

Emissions potentielles de carbone = contenu énergétique x facteur d'émission de carbone
 $= 720\ 000 \times 29,2 = 21\ 024$ t de carbone (tableau A1)

Emissions de carbone oxydé = fraction de carbone oxydée x émissions potentielles de carbone
 $= 0,99 \times 21\ 024 = 20\ 814$ t de carbone oxydé (tableau A2)

Emissions de dioxyde de carbone liées à la combustion = émissions de carbone oxydé x masse molaire du dioxyde de carbone / masse molaire du carbone
 $= 20\ 814 \times 44 / 12 = 76\ 318$ t de CO₂ soit 3,4 t de CO₂/tonne d'agent réducteur.

4.2.2 Utilisation du calcaire et de la dolomite en métallurgie :

Le calcaire (CaCO₃) et la dolomite (CaCO₃.MgCO₃) peuvent être utilisés en métallurgie en tant que fondant. Lorsque ces composés sont portés à des températures très élevées, ils se décomposent et émettent du dioxyde de carbone.

Les émissions de dioxyde de carbone dues à ce phénomène seront ainsi calculées à partir de la consommation de calcaire ou de dolomite et des facteurs d'émissions disponibles dans ce tableau :

Nature	Facteur d'émission (kg de CO ₂ /tonne)
Calcaire	440
Dolomite	477

Ces facteurs d'émissions sont très fiables dans la mesure où ils se basent sur un bilan de matière.

Les émissions sont calculées de la manière suivante :

Emissions de dioxyde de carbone (kg) = tonnage de calcaire utilisé x facteur d'émission spécifique au calcaire

Emissions de dioxyde de carbone (kg) = tonnage de dolomite utilisé x facteur d'émission spécifique à la dolomite

Exemple de la sidérurgie :

Soit un haut fourneau qui produit 50 000 tonnes de fonte par an.

A titre indicatif, pour la sidérurgie, on utilise environ 250 kg de calcaire par tonne de fer.

La réduction des oxydes de fer nécessite donc environ $250 \times 50\,000 = 12\,500$ t de calcaire.

Les émissions liées à la décomposition thermique du calcaire peuvent être calculées ainsi :

$12\,500 \times 440 = 5\,500$ t de CO₂

4.2.3 – Emissions liées au contenu en carbone du minerai

Certains des minerais utilisés pour la production de métal peuvent contenir du carbone ; c'est le cas du carbonate de zinc (ZnCO₃) et de la sidérite (FeCO₃). Pour accéder à l'oxyde correspondant, ces minerais sont décomposés thermiquement. Il en résulte des émissions de dioxyde de carbone.

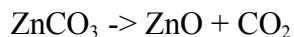
Ces émissions peuvent être calculées de la manière suivante :

Emissions liées à la décomposition thermique des carbonates = teneur en carbone du minerai traité x tonnage de minerai traité x masse molaire du dioxyde de carbone / masse molaire du carbone

Exemple:

On part de 100 tonnes d'un minerai contenant 90% de carbonate de zinc (ZnCO₃).

On a donc 90 t de carbonate de zinc qu'on oxyde en oxyde de zinc.



Les émissions liées à la préparation de l'oxyde de zinc peuvent être calculées ainsi :

Teneur massique en carbone du carbonate x tonnage du carbonate x masse molaire du dioxyde de carbone / masse molaire du carbone = $12 / (65,39 + 12 + 3 \times 16) \times 90 \times (12 + 2 \times 16) / 12 = 32$ t de CO₂ émis

4.3 VERRERIES

Pour ce qui concerne les gaz à effet de serre, les verreries émettent principalement du dioxyde de carbone. Les fours fonctionnent à très haute température (1600°C), ce qui entraîne l'absence d'émissions de N2O et de CH4. Ces émissions de dioxyde de carbone ont plusieurs origines :

- utilisation énergétique des combustibles,
- décomposition des carbonates lors de la fusion (dolomite, calcaire et soude).

4.3.1 - Utilisation énergétique des combustibles :

Pour estimer ces émissions, il faut se reporter au paragraphe 3.

4.3.2 - Utilisation de carbonate de sodium :

Les émissions liées à l'utilisation de **carbonate de sodium** peuvent être estimées comme le produit du tonnage de soude utilisé et d'un facteur d'émissions basé sur un bilan matière.

Les émissions seront calculées de la manière suivante :

Emissions de dioxyde de carbone = tonnage de **carbonate de sodium** utilisé x facteur d'émission

La valeur du facteur d'émission est de 415 kg de CO₂/tonne de **carbonate de sodium** utilisée.

4.3.3 - Utilisation du calcaire et de la dolomite :

Le calcaire (CaCO₃) et la dolomite (CaCO₃.MgCO₃) sont utilisés comme matières premières. Lorsque ces composés sont portés à des températures très élevées lors de la fusion du verre, ils se décomposent et émettent du dioxyde de carbone.

Les émissions de dioxyde de carbone dues à ce phénomène seront calculées à partir de la consommation de calcaire ou de dolomite et des facteurs d'émissions disponibles dans ce tableau :

Nature	Facteur d'émission (kg de CO ₂ /tonne)
Calcaire	440
Dolomite	477

Les émissions seront calculées de la manière suivante :

Emissions de dioxyde de carbone (kg) = tonnage de calcaire utilisé x facteur d'émission spécifique au calcaire
 Emissions de dioxyde de carbone (kg) = tonnage de dolomite utilisé x facteur d'émission spécifique à la dolomite

4.4. CIMENTERIES

Les émissions de gaz carbonique dans la fabrication du ciment ont plusieurs sources : le ciment est produit à partir du clinker, produit intermédiaire lui-même fabriqué dans des fours à partir de certaines matières premières.

Pour la combustion nécessaire au chauffage du four, il convient de se reporter au 3 ci-dessus et à l'annexe contenant les facteurs d'émissions, en notant que cette combustion se fait à partir de combustibles classiques mais également de déchets.

Emissions liées à la décarbonation. Le procédé industriel de fabrication du clinker donne spécialement lieu à émission de gaz carbonique en plus de la combustion : le carbonate de calcium est chauffé au cours du processus de calcination, ce qui produit, à très haute température, de la chaux et du dioxyde de carbone.

Le facteur d'émission retenu par la profession (et par le GHG Protocol) en accord avec le CITEPA est de **525 kg par tonne de clinker**.

4.5. PAPETERIES :

Pour ce qui concerne les gaz à effet de serre, les papeteries émettent principalement du dioxyde de carbone. Ces émissions de dioxyde de carbone ont pour origines :

- utilisation énergétique des combustibles fossiles,
- décomposition des carbonates lors de la fusion (dolomite, calcaire et soude),
- utilisation énergétique de la biomasse,
- emploi de la liqueur noire (issue de la biomasse) dans le procédé.

Les émissions de CO2 doivent être déclarées séparément en distinguant :

- les émissions de CO2 liées aux combustibles fossiles,
- celles liées à l'utilisation de la biomasse,

En effet, en raison de la part importante du carbone stocké, les émissions de gaz carbonique ayant pour origine l'utilisation de la biomasse ne sont pas prises en compte par exemple dans le montant des allocations au titre du projet de directive établissant un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre dans la Communauté.

4.6. RAFFINERIES

Pour ce qui concerne les gaz à effet de serre, les raffineries émettent essentiellement du dioxyde de carbone. Du protoxyde d'azote et du méthane pourraient être émis lors de la combustion ou du stockage et du chargement. Bien que ces sources soient faibles (cf BREF raffineries), elles doivent être déclarées.

Les émissions de dioxyde de carbone sont liées à la combustion dans les équipements suivants : les fours de procédés, les chaudières, les turbines à gaz, les torchères, les incinérateurs, les régénérateurs de cracking catalytique, les chaudières à CO, ainsi que les unités de production d'hydrogène à partir de gaz de raffinerie, de butane ou de charges lourdes. Pour ce type d'unité, les émissions sont calculées à partir de la quantité d'hydrogène produite et de facteurs d'émissions dépendant du type de charge utilisée.

Les émissions de dioxyde de carbone seront calculées à partir des quantités de combustibles brûlés et de facteurs d'émissions spécifiques.

Le contrôle des PCI sera réalisé comme pour la combustion. Le contrôle des facteurs d'émission sera réalisé à partir de la liste des facteurs d'émissions fournis en annexe.

Le contrôle des quantités de combustibles brûlés s'avère plus complexe. En effet, la disponibilité sur site de produits pétroliers peut rendre délicat le contrôle des quantités de combustibles brûlés.

Souvent, une estimation des combustibles brûlés nécessitera la mise en œuvre d'un bilan matière.

Une estimation plus détaillée nécessite la consultation d'un tableau de suivi des consommations de combustibles que tout exploitant doit posséder.

4.7. INDUSTRIE CHIMIQUE

Il s'agit ici des émissions liées au procédé, émises en plus de celles liées à la combustion pour lesquelles il faut se reporter au chapitre 3.

4.7.1. FABRICATION D'AMMONIAC

Rappel sur le procédé

L'ammoniac est fabriqué par synthèse entre l'azote contenu dans l'air et l'hydrogène produit à partir de gaz naturel (du CH₄) ou d'autres combustibles fossiles. En sous-produit est émis du dioxyde de carbone.

Méthodologie d'estimation des émissions de CO₂

Les émissions de CO₂ dépendront de la quantité et de la composition du gaz (ou du produit) utilisé dans le procédé. On suppose que tout le carbone sera dégagé dans l'atmosphère sous forme de CO₂ émis lorsqu'il n'est pas réutilisé comme matière première dans les procédés de fabrication d'urée ou de gaz industriels. On se fonde donc sur la consommation de combustible pour calculer les émissions potentielles en se reportant à la méthode proposée au paragraphe 3, et on déduit l'équivalent CO₂ réutilisé dans chacun des procédés en se basant sur la teneur en carbone du produit fabriqué .

4.7.2. FABRICATION DE CARBURE DE CALCIUM

Le carbure de calcium s'obtient par chauffage du carbonate de calcium (CaCO₃) et par la réduction de la chaux (CaO) avec le carbone (par exemple le coke de pétrole). Ces deux procédés conduisent à des émissions de CO₂.

Il convient d'utiliser les facteurs d'émission présentés dans le tableau ci-dessous pour l'estimation des émissions.

Les émissions peuvent se calculer à partir de l'utilisation de matières premières (calcaire et coke). Le calcaire contient environ 98 pour cent de CaCO₃. Pour produire 1 tonne de carbure, il faut 1750 kg de chaux (ou 950 kg de CaO) et 640 kg d'agent réducteur (y compris des électrodes de 20 kg de carbone).

Les émissions sont calculées de la façon suivante :

Emissions de dioxyde de carbone = tonnes de carbures de calcium fabriquées x facteur d'émission de CO2 (fe) dépendant du procédé utilisé.

**TABLEAU 2-8
FACTEURS D'EMISSION (fe) POUR LE CO2 EMIS LORS DE LA
FABRICATION DU CARBURE DE CALCIUM**

Chauffage de calcaire	0,76	Tonnes CO2/tonne carbure
Réduction de la chaux	1,090	Tonnes CO2/tonne carbure

4.7.3 FABRICATION D'AUTRES SUBSTANCES CHIMIQUES

La production d'autres produits chimiques tels que le noir de carbone, le styrène, l'éthylène, etc., peuvent constituer des sources d'émission de CH₄.

Méthodologie d'estimation des émissions de CH₄

Bien que la plupart des sources de CH₄ liées aux procédés industriels soient relativement faibles si on les considère sur une base individuelle, elles peuvent s'avérer importantes prises collectivement.

Les données disponibles sur les facteurs d'émission sont présentées dans le tableau ci-après :

FACTEURS D'EMISSION POUR LE CH ₄ ISSU DE LA FABRICATION D'AUTRES SUBSTANCES CHIMIQUES (kg CH ₄ /TONNE DE PRODUIT)	
Noir de Carbone	10
Ethylène	1
Styrène	4
Coke	0,35

Les émissions sont obtenues en multipliant un facteur d'émission par la production annuelle.

5. EMISSIONS DE PROTOXYDE D'AZOTE DES PROCÉDES INDUSTRIELS

De fortes émissions de protoxyde d'azote sont produites à l'occasion de la fabrication d'acide adipique (nylon et fibres synthétiques), d'acide nitrique (engrais), d'acide glyoxalique ou de glyoxal.

1) Les émissions de N₂O liées à ces productions sont le plus **souvent mesurées en continu** et bon nombre de sites sont d'ailleurs équipés d'instruments adéquats. Le débit de N₂O émis est en effet déterminé par mesure du flux gazeux d'une part et détermination de la concentration en N₂O dans le gaz d'autre part. Cette concentration est déterminée par un analyseur continu. C'est en tout état de cause très souhaitable compte tenu de la grande disparité des chiffres connus sur les quantités moyennes de protoxyde d'azote émises par tonne d'acide. Par ailleurs, des mesures périodiques sont souvent prévues au titre de l'autosurveillance.

2) En l'absence éventuelle de mesure en continu, il convient de **demander à l'exploitant le facteur d'émission qu'il estime être applicable**, et l'organisme qui a pu certifier ledit facteur d'émission. Les émissions totales de l'installation seront calculées en multipliant les quantités produites par le facteur d'émission.

3) Compte tenu de l'ampleur des émissions de N₂O de la chimie et du pouvoir de réchauffement global élevé (310 fois celui du CO₂), il peut être utile de connaître les facteurs de précision ou d'incertitude de la mesure : fréquence des mesures, précision de l'analyseur et de la mesure du débit.

Une liste de l'ensemble des sites de production avec les valeurs moyennes d'émission pour l'année 1999 a été établie par la DPPR (service de l'environnement industriel). Elle peut être demandée par les DRIRE.

6. EMISSIONS DE GAZ FLUORES (HFC, PFC, NF₃, SF₆...)

La transmission du bilan des émissions de ces gaz a été introduite dans l'article 62 de l'arrêté intégré par l'arrêté du 2 février 2001 parce qu'ils figurent dans le panier des gaz à effet de serre de Kyoto (HFC, PFC, SF₆) ou parce qu'ils devraient être inclus dans les engagements ultérieurement (NF₃). Leur pouvoir de réchauffement global est très élevé.

L'intérêt d'une déclaration des émissions de ces gaz est que les sources d'émissions sont disséminées et peu connues site par site. C'est le moyen le plus efficace pour suivre avec précision ces sources.

La DPPR adressera aux directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement la liste des établissements dont les émissions annuelles atteignent le seuil prévu par l'arrêté du 2 février 1998, établie au vu des informations dont elle dispose.

Les émissions de gaz fluorés se produisent essentiellement :

- soit lors de leur **conditionnement dans des appareils** (exemple bombes aérosols) et dans ce cas, c'est un *bilan matière* des quantités annuelles de gaz consommés, et non introduits dans les appareils, qu'il convient de considérer .
- soit en cours de fonctionnement des appareils (recharges) - cas des grosses installations de réfrigération -, soit lors d'un processus industriel (SF₆ et PFC dans la fabrication de semi-conducteurs) parce qu'ils sont utilisés comme fluide nécessaire dans le procédé sans aucune étanchéité possible : il suffira de se baser sur la *quantité de fluide consommée*.
- soit, dans certains cas, lors d'un processus industriel par réaction chimique (aluminium) : il conviendra de se baser sur la *mesure faite par l'exploitant lui-même*.

Les sources à considérer sont présentées ci-après par gaz, et pour chaque gaz par secteur d'application.

Ci-après les principaux HFC, PFC et SF6 et leur pouvoir de réchauffement global (source CITEPA à partir du GIEC): ces coefficients, encore applicables en vertu d'une décision de la 3^{ème} conférence des parties à la convention cadre sur les changements climatiques, sont susceptibles d'évoluer avec l'amélioration des connaissances et les nouvelles propositions faites par le GIEC dans son troisième rapport d'évaluation.

<i>Substances</i>	<i>Pouvoir de réchauffement global (100 ans) CO2 = 1</i>
HFC-125	2 800
HFC-134a	1 300
HFC-143a	3 800
HFC-152a	140
HFC-227ea	2 900
HFC-23	11 700
HFC-4310	1 300
HFC-365 mfc	810
HFC- 404 –a	3260
CF ₄	5 700
C ₂ F ₆	11 900
C ₃ F ₈	7 000
C ₄ F ₁₀	7 000
C ₅ F ₁₂	7 500
C ₆ F ₁₄	7 400
HFE-7100	500
NF ₃	8 000
SF ₆	23 900

6.1. HYDROFLUOROCARBURES OU HFC

Dans tous les cas, la dénomination exacte des HFC ou mélanges de HFC utilisés devra être précisée.

En effet, l'impact sur l'effet de serre peut varier très fortement suivant la catégorie de HFC utilisée.

Les secteurs industriels pour lesquels on peut considérer que les émissions de HFC d'une installation dépasseront les seuils de l'arrêté du 2 février 1998 (0,5 tonnes par an) sont les suivants :

1) Grands appareils de réfrigération et de climatisation (grands supermarchés, appareils de refroidissement utilisés dans les procédés de la chimie ou de certaines industries agro-alimentaires, gros équipements de climatisation – groupes refroidisseurs d'eau).

Pour ces équipements, les émissions ont lieu principalement à l'occasion des opérations de maintenance : les émissions ont lieu à l'occasion des opérations de vidange et de recharge des appareils. Une bonne connaissance des émissions est obtenue si l'exploitant fournit des informations sur la fréquence (une fois l'an, une fois tous les deux ans) des opérations de recharge en fluide et s'il peut donner un bilan – matière des quantités de HFC utilisées en précisant le type de HFC (cf plus haut).

2) Fabrication d'équipements :aérosols, matériels de lutte contre l'incendie, fabrication de mousses.

Pour ces secteurs, les émissions ont lieu à la charge et doivent également être établies à partir d'un **bilan - matière :**

- quantité de HFC achetés par l'installation durant l'année N-1
- quantité totale conditionnée
- pertes annuelles
- quantités récupérées

3) Emissions de HFC lors de la fabrication de HFC et HCFC : il y a lieu de demander communication de la méthode de quantification des émissions spécifiques lors de la production des HFC et HCFC à Tavaux (Jura) et à Pierre Bénite (Rhône), la fréquence des mesures s'il y en a, le facteur d'émission utilisé et les conditions de sa validation. Les entreprises concernées mettent actuellement au point, par écrit, ces méthodes de quantification.

La production de HFC et de HCFC 22 se fait à Tavaux (Jura) et à Pierre Bénite (Rhône).

6.2. PERFLUOROCARBURES (PFC)

6.2.1. PFC émis lors de la fabrication de l'aluminium de première fusion

La production d'aluminium primaire se fait en deux étapes.

Dans une première étape, le minerai de bauxite est broyé puis soumis au procédé chimique Bayer d'extraction de l'alumine sous forme d'hydrate, ensuite transformé par cuisson en alumine calcinée (formule Al_2O_3).

Dans une seconde étape, la réduction électrolytique de l'alumine par le procédé Hall-Héroult s'opère dans des séries de cuves d'électrolyse traversées par un courant électrique de haute intensité et équipées d'anodes en carbone consommables. L'aluminium et le CO_2 sont les principaux produits de la réaction.

Deux PFC , le tétrafluorure de carbone (CF4) et l'hexafluorure de carbone (C2F6), sont émis au cours de cette étape en raison de la présence des sels fluorés (cryolithe) utilisés comme fondant de l'alumine (bain d'électrolyse).

La profession utilise d'ores et déjà une méthode de mesure indirecte qu'elle a mise au point, reconnue dans les lignes directrices du GIEC relatives aux « bonnes pratiques en matière d'inventaires et gestion des incertitudes » élaborées en 2000.

Cette méthode repose sur le fait que les PFC sont formés durant un phénomène intermittent appelé « effet d'anode » au cours duquel les produits fluorés sont électrolysés en lieu et place de l'alumine lorsque celle-ci est en concentration insuffisante dans le bain d'électrolyse. L'effet d'anode s'accompagne d'une montée brutale de la tension électrique aux bornes de la cuve. Une formule vérifiée empiriquement, à l'occasion de campagnes de mesure des CF4 sur les différentes technologies d'électrolyse exploitées en France, relie les émissions de CF4 par tonne d'aluminium à la « surtension d'effet d'anode », paramètre électrique de procédé mesuré en permanence (sur les cuves utilisant la technologie française de Péchiney), moyenné sur le mois et sur l'ensemble des cuves de chaque série. La surtension moyenne d'effet d'anode ainsi calculée est un paramètre intégrateur qui prend en compte à la fois la fréquence des effets d'anode, leur durée et leur "force" exprimée en volts. Les émissions absolues de CF4 sont ainsi proportionnelles à l'énergie excédentaire dissipée (puisque la production d'aluminium est proportionnelle à l'intensité du courant électrique).

L'exploitant devra fournir pour chaque série d'électrolyse les données correspondant à la surtension moyenne d'effet d'anode (SEA), le rendement Faraday (F) qui intervient de façon secondaire dans la formule et la production d'aluminium (P). Il explicitera l'application des formules :

$$\text{CF4 (en kg par tonne d'aluminium)} = K * \text{SEA} / F \text{ (en \%)}$$

avec

$$K = 1,8623 \quad (\text{la valeur du GIEC est arrondie à } 1,9)$$

SEA surtension moyenne d'effet d'anode en millivolts

F rendement Faraday de l'électrolyse

$$\text{CF4 (en kg)} = \text{CF4 (en kg par tonne)} * P \text{ (en tonnes)}$$

L'exploitant devra par ailleurs rapporter et justifier :

- ◆ l'utilisation d'une constante K différente pour une usine donnée, sur la base de nouvelles mesures directes d'émissions et d'études démontrant une corrélation statistique meilleure.
- ◆ l'utilisation temporaire éventuelle d'une formule différente utilisant par exemple la seule fréquence d'effet d'anode et un coefficient approprié , en cas de dérive de la mesure de la surtension.

Les émissions de C2F6 , pour lesquelles l'industrie n'a pas encore mis au point de formule équivalente, sont estimées à 10% des émissions de CF4 sur la base de mesures mises en commun par la profession. Ce ratio est utilisé de façon universelle et figure également dans les lignes directrices du GIEC.

6.2.2. PFC utilisé dans l'industrie des semi-conducteurs.

Il s'agit notamment du PFC 116, du PFC 14, ou d'autres types que l'exploitant devra indiquer avec leur pouvoir de réchauffement global.

Les PFC sont utilisés dans l'industrie pour la gravure de micro processeurs. Un consensus international prévaut actuellement pour considérer que 72 % des PFC consommés par l'industrie sont émis à l'atmosphère lorsqu'aucun dispositif de traitement en aval n'est opérationnel.

Toutes les substances consommées ayant par définition vocation à être émises dans l'atmosphère, l'exploitant devra donner la quantité annuelle consommée de chacune de ces substances. Il multipliera cette quantité par 72 %.

6.2.3 NF3

Le NF3, dont le pouvoir de réchauffement est de 8000 fois celui du gaz carbonique, est utilisé aux mêmes fins que les PFC. Le facteur d'émission est identique. L'exploitant doit fournir également les quantités annuelles consommées.

6.3. HEXAFLUORURE DE SOUFRE (SF₆)

Le pouvoir de réchauffement global du SF₆ est de 23 900 fois celui du CO₂. Avec un faible tonnage, l'impact sur l'effet de serre peut donc être élevé.

Emissions de SF₆ dans les fonderies de magnésium :

Le SF₆ consommé est totalement émis dans l'atmosphère. L'exploitant devra fournir le bilan matière du SF₆ consommé dans l'année N-1.

Emissions de SF₆ dans la fabrication d'équipements électriques :

Un bilan matière devra être effectué. Est repris ici le bilan admis dans le guide des « bonnes pratiques en matière d'inventaires » et proposé par le GIMELEC et le CAPIEL, organismes français et européen regroupant les fabricants d'équipements électriques.

Bilan matière du SF₆ dans les équipements électriques

Entrées annuelles :

E1 : Quantité de SF₆ achetée dans l'année N-1

E2 : Variation annuelle du stock

Sorties annuelles :

S1 : quantités annuelles utilisées dans les appareils au cours de l'année N-1

S2 : quantité annuelle réexpédiée en bouteilles et conteneurs vides, avec estimation des fonds de bouteille, au cours de l'année N-1

S3 : quantité de gaz à recycler

Pertes en usine :

$(E1 + E2) - (S1 + S2 + S3)$.

Emissions de SF₆ dans la fabrication de semi-conducteurs

Les émissions seront calculées de la manière suivante :

Emissions de SF₆ = 72 % de la quantité totale de SF₆ consommée sur le site au cours de l'année N-1, calculée à partir d'un bilan – matière (cf le paragraphe relatif aux PFC des semi-conducteurs ci-dessus).

SOURCES ET BASE DOCUMENTAIRE

- Lignes directrices révisées du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) de 1996 sur les inventaires nationaux de gaz à effet de serre.
<http://www.ipcc-nggip.iges>.
- Rapport du GIEC de 2000 sur les Recommandations en matière de bonnes pratiques et gestion des incertitudes.
- GHG protocol initiative (<http://www.wbcsd.org>) et Protocole de Mesure et de reporting (EPE et ANDERSEN)
- Note du Syndicat Français de l'Industrie Cimentière du 27 février 2002 adoptée par le Comité de Suivi de l'industrie Cimentière.
- Notes du CITEPA (cf annexe), de Price Waterhouse Coopers et de diverses entreprises et organismes professionnels dont Péchiney, Capiel, Gimelec, UIC, Rhodia, Copacel...