



COMMISSION EUROPÉENNE

Prévention et réduction intégrées de la pollution (IPPC)

Document de référence sur les Meilleures Techniques Disponibles dans la production sidérurgique

Décembre 2001

Prévention et réduction intégrées de la pollution (IPPC)

**Document de référence sur les Meilleures Techniques Disponibles dans la production
sidérurgique**

Décembre 2001

Résumé

Le présent Document de référence sur les Meilleures Techniques Disponibles (MTD) dans l'industrie sidérurgique reflète un échange d'informations effectué conformément à l'article 16, paragraphe 2, de la Directive 96/61/CE du Conseil. Il doit être compris à la lumière de la préface qui décrit les objectifs du document et son utilisation.

Portée du document

Ce document couvre les aspects environnementaux de la sidérurgie dans les aciéries intégrées (installations d'agglomération et de pelletisation, cokeries, hauts fourneaux et convertisseurs à oxygène, y compris la coulée continue ou en lingotière) ainsi que dans les aciéries électriques. Son cadre n'inclut toutefois pas la transformation des métaux ferreux en aval de la coulée.

Informations présentées

Les aspects écologiques les plus importants de la sidérurgie concernent les rejets dans l'atmosphère et les déchets ou les sous-produits solides. Les eaux résiduelles des cokeries, des hauts fourneaux et des convertisseurs à oxygène constituent les effluents les plus significatifs dans ce secteur.

Il n'est donc pas surprenant que l'on dispose d'une bonne information sur ces aspects alors qu'elle est plus limitée sur les émissions sonores et les vibrations et sur les mesures visant à les atténuer. Il en va de même pour la pollution des sols, pour la santé et la sécurité ainsi que pour les aspects liés à la nature. De plus, on sait peu de chose sur les méthodes d'échantillonnage et d'analyse, les intervalles de temps, les méthodes de calcul et les conditions de référence sur lesquels reposent les données présentées.

Structure du document

Ce BREF est structuré en trois grandes parties :

- Informations générales sur le secteur
- Informations sur les aciéries intégrées
- Informations sur les aciéries électriques

La partie sur les informations générales comporte des données statistiques sur la production sidérurgique dans l'UE, la répartition géographique, les aspects économiques et l'emploi, ainsi qu'une évaluation sommaire de l'impact environnemental du secteur. En raison de la complexité des aciéries intégrées, un aperçu général en est d'abord donné (chapitre 3), et les chapitres suivants reprennent en détail (jeu complet d'informations) les principales étapes de la production :

- installations d'agglomération (chapitre 4),
- installations de pelletisation (chapitre 5),
- cokeries (chapitre 6),
- hauts fourneaux (chapitre 7),
- aciéries à oxygène, y compris la coulée (chapitre 8).

Par jeu complet d'informations, il faut entendre l'ensemble des informations relatives à ces étapes de production conformément au cadre général fixé pour l'écriture des documents BREF de la directive

IPPC. Ce découpage de l'information par étapes de production a pour but de faciliter l'emploi du document dans la pratique.

L'élaboration de l'acier dans les fours à arc électrique, qui diffère totalement de celle des aciéries intégrées, est présentée dans un chapitre à part (chapitre 9).

Enfin, pour achever la présentation, le document aborde les techniques métallurgiques nouvelles ou de remplacement (Chapitre 10).

Le chapitre 11 présente les conclusions et les recommandations.

Informations générales

Le fer et l'acier sont des produits importants largement utilisés. La production d'acier brut dans l'Union européenne a atteint 155,3 millions de tonnes en 1999, soit environ 20 % de la production mondiale.

Les deux tiers environ de la production d'acier brut de l'UE proviennent des hauts fourneaux, répartis sur 40 sites, le tiers restant étant issu de 246 fours à arc électrique.

En 1995, l'industrie sidérurgique employait quelque 330 000 personnes, auxquelles vient s'ajouter l'importante main-d'œuvre employée dans les industries qui en dépendent comme le bâtiment, la construction automobile, le génie mécanique, etc.

Production sidérurgique

L'industrie sidérurgique est très gourmande en matières premières et en énergie. Plus de la moitié des matières premières utilisées se retrouvent en fin de processus sous la forme de rejets gazeux et de déchets ou de sous-produits solides. Les rejets les plus importants sont émis dans l'atmosphère. Pour la plupart des polluants considérés, les installations d'agglomération viennent en tête de l'ensemble des émissions. Malgré de gros efforts mis en œuvre pour les réduire, le secteur contribue encore largement aux émissions atmosphériques totales de l'UE d'un certain nombre de polluants, notamment certains métaux lourds et les PCDD/F. Si le taux de réutilisation et de recyclage des déchets et des sous-produits solides a spectaculairement augmenté par le passé, des quantités considérables sont encore mis en décharge.

Pour que le lecteur comprenne bien à la fois les problèmes environnementaux et les informations complémentaires, les chapitres qui traitent des principales installations des aciéries intégrées (voir ci-dessus) et des aciéries électriques, commencent par une brève description des procédés et techniques mis en œuvre.

Les données d'émission et de consommation caractérisent en détail les flux entrants et sortants par compartiment (air, eau et sol), en tenant compte également aspects énergétiques ou liés au bruit (pour les installations d'agglomération : tableau 4.1 ; pour les installations de pelletisation : tableau 5.1 ; pour les cokeries : tableaux 6.2 et 6.3 ; pour les hauts fourneaux : tableau 7.1 ; pour l'aciérie à oxygène et la coulée : tableau 8.2). Toutes ces données proviennent d'installations existantes et sont indispensables pour évaluer les techniques décrites, à prendre en compte dans la détermination des

MTD. La description de ces techniques suit une structure précise (description de la technique, principaux niveaux atteints, applicabilité, effets croisés, installations de référence, données d'exploitation, éléments moteurs, aspects économiques et documents de référence), ce qui permet ensuite en conclusion de définir les MTD. Ces conclusions s'appuient sur le jugement des experts du groupe de travail technique (TWG).

MTD pour les installations d'agglomération (Chapitre 4)

L'aggloméré, qui est le produit de l'agglomération de matériaux ferreux, est l'un des constituants majeurs du lit de fusion des hauts fourneaux. Les principaux problèmes environnementaux posés sont les effluents gazeux de la bande d'agglomération qui contiennent un large éventail de polluants tels que les poussières, les métaux lourds, le SO₂, le HCl, le HF, les HAP et les composés organochlorés (notamment PCB et PCDD/F). Par conséquent, la plupart des techniques décrites à prendre en compte dans la détermination des MTD portent sur la réduction des rejets dans l'atmosphère. Il en va de même pour les conclusions ; dès lors, les paramètres les plus importants sont les poussières et les PCDD/F.

Dans le cas des installations d'agglomération, les techniques ou combinaisons de techniques suivantes sont considérées comme MTD.

1. Dépoussiérage des effluents gazeux par :

- précipitation électrostatique (ESP) avancée (électrofiltre à électrode mobile, à courant pulsé, à haute tension...) ; *ou*
- précipitation électrostatique associée à un filtre en tissu ; *ou*
- pré-dépoussiérage (p. ex. : électrofiltre ou cyclones) associé à une épuration par voie humide à haute pression.

L'emploi de ces techniques permet de réduire la teneur en poussières des rejets à moins de 50 mg/Nm³ dans les conditions normales de fonctionnement. En cas d'utilisation d'un filtre en tissu, ces rejets sont compris entre 10 et 20 mg/Nm³.

2. Recirculation des gaz résiduels, lorsqu'elle n'affecte significativement ni la qualité ni la productivité de l'agglomération, par :

- recirculation d'une partie des gaz résiduels à partir de toute la surface de la bande d'agglomération ; *ou*
- recirculation des gaz résiduels par section.

3. Réduction au minimum des rejets de PCDD/F, par :

- recirculation des gaz résiduels ;
- traitement des gaz résiduels provenant de la bande d'agglomération ;
 - utilisation de systèmes d'épuration fine par voie humide, permettant d'atteindre des valeurs inférieures à 0,4 ng I-TEQ/Nm³.
 - filtration sur tissu avec ajout de poudre de coke de lignite, pour des valeurs d'émission de PCDD/F également réduites (réduction supérieure à 98 %, soit 0,1 à 0,5 ng I-TEQ/Nm³. Cette plage de valeurs repose sur un échantillon aléatoire de 6 heures et des conditions de régime permanent).

4. Réduction au minimum des rejets de métaux lourds

- utilisation de systèmes d'épuration fine par voie humide afin d'éliminer les métaux lourds hydrosolubles (chlorures métalliques), et plus particulièrement le(s) chlorure(s) de plomb, avec une efficacité supérieure à 90 %, ou d'un filtre à manche avec addition de chaux ;
- mise en décharge contrôlée (enrobage hermétique, collecte et traitement des lixiviats) des poussières provenant du dernier champ de l'électrofiltre au lieu de les recycler vers la bande d'agglomération, éventuellement après extraction de l'eau suivie d'une précipitation des métaux lourds, afin de réduire autant que possible les quantités à mettre en décharge.

5. Réduction au minimum des déchets solides

- recyclage des sous-produits ferreux et carbonés provenant des aciéries intégrées, en tenant compte de la teneur en huile des différents sous-produits ($< 0,1 \%$) ;
- dans le cas de la production de déchets solides, les techniques suivantes sont considérées comme MTD, par ordre de priorité décroissant :
 - réduction au minimum de la production de déchets ;
 - recyclage sélectif vers le procédé d'agglomération ;
 - si une réutilisation interne est impossible, viser une réutilisation externe ;
 - si aucune réutilisation n'est possible, la seule option restante est la mise en décharge contrôlée, combinée au principe de réduction au minimum.

6. Abaissement de la teneur en hydrocarbures du produit à agglomérer et évitement de l'antracite comme combustible.

Il est possible d'atteindre des teneurs en huile, mesurées dans les sous-produits ou les résidus recyclés, inférieures à $0,1 \%$.

7. Récupération de la chaleur sensible :

La chaleur sensible peut être récupérée à partir des gaz résiduels du refroidisseur et, dans certains cas, à partir des gaz résiduels de la grille d'agglomération. La recirculation des gaz résiduels peut également être considérée comme une forme de récupération de la chaleur sensible.

8. Réduction au minimum des rejets de SO_2 par, notamment :

- réduction des apports de soufre (emploi de poussier de coke à faible teneur en soufre et réduction au minimum de la consommation de poussier de coke, utilisation de minerai de fer à faible teneur en soufre) ; grâce à ces mesures, il est possible d'atteindre, dans les rejets, des concentrations inférieures à $500 \text{ mg SO}_2/\text{Nm}^3$;
- désulfuration des gaz résiduels par voie humide, qui permet d'obtenir une réduction des émissions de SO_2 supérieure à 98 % et des concentrations de SO_2 inférieures à $100 \text{ mg SO}_2/\text{Nm}^3$.

En raison de son coût élevé, la désulfurisation des gaz résiduels par voie humide ne s'impose que lorsque les normes de qualité environnementale risquent de ne pas être atteintes.

9. Réduction au minimum des émissions de NO_x par, notamment :

- recirculation des gaz résiduels ;
- dénitrification des gaz résiduels ; grâce à :
 - un processus de régénération au charbon actif ;
 - une réduction catalytique sélective.

En raison de son coût élevé, la dénitrification des gaz résiduels n'est pas appliquée, excepté lorsque les normes de qualité environnementale risquent de ne pas être atteintes.

10. Rejets dans l'eau (autres que l'eau de refroidissement)

Cette question n'est pertinente qu'en cas d'utilisation d'eau de rinçage ou d'un système de traitement des gaz résiduels par voie humide. Dans ces cas, l'effluent liquide doit être traité par précipitation des métaux lourds, neutralisation et filtration sur sable. Des concentrations en carbone organique total inférieures à 20 mg C/l et des concentrations de métaux lourds inférieures à 0,1 mg/l (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) sont atteintes.

En cas de déversement dans les eaux douces, il convient de faire attention à la salinité. L'eau de refroidissement peut être recyclée.

En principe, compte tenu de la préface, les techniques mentionnées aux points 1 à 10 sont applicables aussi bien aux nouvelles installations qu'aux installations déjà existantes.

MTD pour les installations de pelletisation (Chapitre 5)

La pelletisation est un autre procédé d'agglomération des matériaux ferreux. Alors que, pour différentes raisons, l'agglomération a presque toujours lieu sur le site des aciéries, les pellets sont principalement produits sur le site de la mine ou de son port d'expédition. C'est pourquoi il n'existe dans l'UE qu'une seule installation de pelletisation faisant partie d'une aciérie intégrée, et quatre installations autonomes. Pour ces installations également, les rejets dans l'atmosphère viennent en tête des préoccupations environnementales. Par conséquent, la plupart des techniques décrites à prendre en compte dans la détermination des MTD concernent les rejets dans l'atmosphère ; il en va de même pour les conclusions.

Dans le cas des installations de pelletisation, les techniques ou combinaisons de techniques suivantes sont considérées comme MTD.

1. Elimination efficace des particules, du SO₂, du HCl et du HF présents dans les gaz résiduels de la bande de durcissement, au moyen :

- d'un lavage ; *ou*
- d'une désulfurisation semi-sèche suivie d'un dépoussiérage (par exemple à l'aide d'un absorbeur à suspension gazeuse ou GSA) ou tout autre dispositif d'une efficacité similaire.

Pour ces composés, l'efficacité d'élimination possible est :

- particules : > 95 %, soit une concentration possible inférieure à 10 mg de poussières /Nm³ ;
 - SO₂ : > 80 %, soit une concentration possible inférieure à 20 mg de SO₂ /Nm³ ;
 - HF : > 95 %, soit une concentration possible inférieure à 1 mg de HF /Nm³ ;
 - HCl : > 95 %, soit une concentration possible inférieure à 1 mg de HCl /Nm³.
2. Les rejets dans l'eau par les dépoussiéreurs sont minimisées grâce à la mise en circuit fermé du cycle de l'eau, à la précipitation des métaux lourds, à la neutralisation et à la filtration sur sable.
3. Réduction intégrée au process des émissions de NO_x ;
- La conception de l'installation doit être optimisée pour permettre une récupération de la chaleur sensible et une réduction des émissions de NO_x dans toutes les sections de cuisson (bande de durcissement, le cas échéant, et séchage au niveau des broyeurs).
- Pour une installation, équipée d'un four à grille et utilisant de la magnétite comme minerai, on a atteint des émissions de NO_x inférieures à 150g/t de pellets. Dans d'autres installations (existantes ou nouvelles, du même type ou non, utilisant les mêmes matières premières ou non), les solutions doivent être élaborées sur mesure et le niveau possible de rejets de NO_x peut varier d'un site à l'autre.
4. Minimisation en fin de process des émissions de NO_x grâce à des techniques en bout de chaîne : réduction catalytique sélective ou toute autre technique présentant une efficacité de réduction du NO_x au moins égale à 80 % ;
- En raison de son coût élevé, la dénitrification des gaz résiduels ne doit être envisagée que lorsque les normes de qualité environnementale sont susceptibles de ne pas être atteintes par d'autres moyens ; à ce jour, aucune installation commerciale de pelletisation n'est équipée d'un système de dénitrification.
5. Réduction au minimum des déchets et sous-produits solides ;
- Les techniques suivantes sont considérées comme des MTD par ordre de priorité descendant :
- réduction au minimum de la production de déchets
 - utilisation efficace (recyclage ou réutilisation) des déchets et sous-produits solides
 - mise en décharge contrôlée des déchets et sous-produits inévitables
6. Récupération de la chaleur sensible ;
- La plupart des installations de pelletisation enregistrent déjà un fort taux de récupération d'énergie. Pour des améliorations supplémentaires, il est généralement nécessaire de mettre au point des solutions sur mesure.

En principe, compte-tenu de la préface, les techniques énumérées dans les points 1 à 6 s'appliquent à la fois aux installations nouvelles ou déjà existantes.

MTD pour les cokeries (Chapitre 6)

Le coke est le principal agent réducteur nécessaire dans les hauts fourneaux. Pour les cokeries également, les rejets dans l'atmosphère constituent un problème essentiel. Beaucoup de ces rejets sont toutefois des émissions fugaces qui proviennent de différentes sources : fuites au niveau des couvercles, des portes des fours et des portillons de repalage, colonnes montantes, ou encore émissions libérées lors de certaines opérations telles l'enfournement, le défournement et l'extinction du coke. Des émissions fugaces se produisent également dans l'installation de traitement des gaz des fours à coke. Les fumées provenant des systèmes de chauffage sont la principale source ponctuelle d'émission dans l'atmosphère. Du fait de cette situation particulière concernant les émissions, l'information détaillée est compilée de manière à fournir une compréhension suffisante. En conséquence, la plupart des techniques à prendre en considération dans la détermination des MTD portent sur la réduction au minimum des rejets dans l'atmosphère. L'accent a été mis sur un fonctionnement souple et régulier des fours à coke ainsi que sur leur entretien, qui apparaît comme essentiel.

La désulfuration des gaz de cokerie est une mesure de haute priorité pour réduire au minimum les émissions de SO_2 , non seulement au niveau des cokeries proprement dites, mais aussi d'autres installations qui utilisent ce gaz comme combustible.

L'élimination des eaux usées est un autre problème majeur des cokeries. Une information détaillée fournit un tableau clair ainsi qu'une description des techniques permettant de réduire au minimum les rejets dans l'eau.

Les conclusions reflètent les problèmes mentionnés plus haut. C'est pourquoi l'extinction à sec du coke n'est considérée comme une MTD que dans certaines circonstances et non pas d'une manière générale.

En ce qui concerne les cokeries, les techniques ou combinaisons de techniques suivantes sont considérées comme des MTD.

1. Généralités :

- maintenance complète des chambres du four, des portes et des joints d'étanchéité, des colonnes montantes, des bouches d'enfournement et des autres équipements (programme systématique réalisé par un personnel de maintenance spécialement formé) ;
- nettoyage des portes, joints d'étanchéité, bouches d'enfournement, couvercles et colonnes montantes après manutention ;
- maintien d'une libre circulation des gaz dans les fours à coke.

2. Chargement :

- chargement à l'aide d'enfourneuses.
- En ce qui concerne l'intégration au process, les procédés privilégiés sont le chargement « sans fumée » ou le chargement séquentiel avec double colonne montante ou conduites de raccordement, car tous les gaz et particules entrent alors dans le processus de traitement du gaz de cokerie. En revanche, lorsque les gaz sont extraits et traités à l'extérieur du four à coke, la méthode préférée est le chargement avec traitement au sol des gaz extraits. Le

traitement devrait consister en une évacuation efficace suivie d'une combustion et d'une filtration sur tissu. Des émissions de particules inférieures à 5 g/t de coke sont réalisables.

3. Cokéfaction :

Une combinaison des mesures suivantes :

- fonctionnement régulier et sans perturbation du four à coke en évitant les fortes variations de température ;
- utilisation de portes à joints flexibles munies de ressorts ou de portes en lames de couteau (dans le cas des fours d'une hauteur ≤ 5 mètres et bien entretenus), permettant d'obtenir les résultats suivants :
 - moins de 5 % d'émissions visibles (fréquence de toutes les fuites par rapport au nombre total de portes) passant à travers toutes les portes, pour les nouvelles cokeries, *et*
 - moins de 10 % d'émissions visibles passant à travers toutes les portes, pour les cokeries existantes ;
- colonnes montantes à étanchéisation hydraulique, permettant de réduire à moins de 1 % les émissions visibles (fréquence de toutes les fuites par rapport au nombre total de colonnes montantes) s'échappant de toutes les colonnes ;
- lutage des bouches d'enfournement au moyen d'une suspension argileuse (ou d'un autre matériau d'étanchéité adéquat), permettant de réduire à moins de 1 % les émissions visibles (fréquence de toutes les fuites par rapport au nombre total d'orifices) provenant de l'ensemble des orifices ;
- Portes de repalage équipées d'une garniture d'étanchéité permettant de réduire à moins de 5 % les émissions visibles.

4. Cuisson :

- utilisation de gaz de cokerie désulfurés ;
- prévention des fuites entre la chambre du four et le piédroit grâce à un fonctionnement régulier du four à coke ; *et*
- réparation des fuites entre la chambre du four et le piédroit ; *et*
- intégration de techniques à bas NO_x dans la construction de nouvelles batteries, telles que la combustion par étage (émissions de l'ordre de 450 à 700 g/t de coke et concentration de 500 à 770 mg/Nm³ réalisables dans les installations nouvelles/modernes) ;
- en raison de son coût élevé, la dénitrification des gaz de combustion (réduction catalytique sélective, par exemple) n'est pas appliquée, excepté dans les nouvelles installations lorsque les normes de qualité environnementale risquent de ne pas être respectées.

5. Défournement :

- extraction avec hotte (intégrée) sur la machine de transfert du coke et traitement au sol des gaz extraits au moyen de filtres en tissu, et utilisation d'un wagon d'extinction monopoint pour réduire les émissions de particules à moins de 5 g/t de coke (émissions par les cheminées).

6. Extinction :

- extinction par voie humide avec minimisation des émissions de particules à moins de 50 g/t de coke (détermination par la méthode VDI). L'emploi des eaux de process à forte charge organique (eaux usées des fours à coke brut, eaux usées à forte teneur en hydrocarbures, etc.) comme eau d'extinction est à éviter.
- extinction du coke à sec (*Coke Dry Quenching* ou CDQ) avec récupération de la chaleur sensible et évacuation des poussières résultant des opérations de chargement, de manutention et de criblage grâce à une filtration sur tissu. Etant donnés les prix actuels de l'énergie dans l'UE, la prise en compte du rapport « coût opérationnel / avantage environnemental » limite très fortement l'applicabilité de l'extinction à sec. Il faut en outre que l'énergie récupérée trouve une utilisation.

7. Désulfuration des gaz de cokerie :

- désulfuration grâce à des systèmes d'absorption (teneur du gaz en H_2S au niveau de la grille de sortie comprise entre 500 et 1 000 mg de $\text{H}_2\text{S}/\text{Nm}^3$), ou
- désulfuration oxydative (teneur inférieure à 500 mg $\text{H}_2\text{S}/\text{Nm}^3$),
à condition de fortement réduire les effets croisés des composés toxiques.

8. Étanchéisation de l'installation de traitement du gaz :

Toutes les mesures permettant une exploitation de l'installation de traitement des gaz dans des conditions de quasi-étanchéité doivent être envisagées :

- minimiser le nombre de brides en soudant les connexions des conduites partout où cela est possible ;
- utiliser des pompes étanches au gaz (pompes magnétiques, par exemple) ;
- éviter les émissions qui proviennent des soupapes de refoulement des réservoirs de stockage en raccordant la soupape d'échappement au collecteur principal de gaz de cokerie (ou en captant les gaz puis en les brûlant).

9. Prétraitement des eaux usées :

- strippage efficace de l'ammoniac à l'aide d'alcalis. L'efficacité de cette opération doit être reliée au traitement ultérieur des eaux usées. Il est possible d'atteindre des concentrations de 20 mg/l de NH_3 dans l'effluent de strippage ;
- dégoudronnage.

10. Traitement des eaux usées :

Épuration biologique des eaux usées avec nitrification/dénitrification intégrées, ce qui permet d'obtenir les résultats suivants :

- diminution de la DCO : $> \text{à } 90 \%$
- sulfures : $< \text{à } 0,1 \text{ mg/l}$
- HAP (Somme des 6 de Borneff) : $< \text{à } 0,05 \text{ mg/l}$
- CN^- : $< \text{à } 0,1 \text{ mg/l}$
- phénols : $< \text{à } 0,5 \text{ mg/l}$
- azote minéral (NH_4^+ , NO_3^- et NO_2^- réunis) : $< \text{à } 30 \text{ mg/l}$
- matière en suspension : $< \text{à } 40 \text{ mg/l}$

Ces concentrations sont obtenues avec un débit spécifique pour les eaux usées de $0,4 \text{ m}^3/\text{t}$ de coke.

En principe, compte tenu de la préface, les techniques mentionnées aux points 1 à 10 sont applicables aussi bien aux nouvelles installations qu'aux installations déjà existantes, à l'exception des techniques à bas NO_x (pour les nouvelles installations seulement).

MTD pour les hauts fourneaux (Chapitre 7)

Le haut fourneau reste, de loin, le procédé le plus important pour obtenir de la fonte brute à partir de matériaux ferreux. En raison d'une consommation relativement importante d'agents réducteurs (coke et charbon essentiellement), ce procédé absorbe la plus grande partie de l'énergie totale consommée par une aciérie intégrée.

Les émissions importantes qu'il engendre dans tous les milieux sont décrites en détail. C'est pourquoi les techniques décrites à prendre en considération pour déterminer les MTD couvrent tous ces aspects, y compris la réduction au minimum de l'apport d'énergie. Les conclusions qui en sont tirées traitent principalement de la diminution de l'empoussièrement provenant de la halle de coulée, du traitement des eaux usées de lavage des gaz de haut fourneau, de la réutilisation du laitier, poussières et boues et, enfin, de la réduction au minimum de l'apport d'énergie et de la réutilisation des gaz de haut fourneau.

Dans le cas des hauts fourneaux, les techniques ou combinaisons de techniques suivantes sont considérées comme MTD.

1. Récupération des gaz de haut fourneau ;
2. Injection directe d'agents réducteurs ;

L'injection de charbon pulvérisé à raison de 180 kg/t de fonte brute, par exemple, a déjà été testée avec succès, mais des taux d'injection supérieurs pourraient être atteints ;

3. Récupération de l'énergie de détente des gaz de haut fourneau lorsque les conditions préalables sont réunies ;

4. Cowpers :

- possibilité d'atteindre dans les rejets une concentration de poussières inférieure à 10 mg/Nm^3 et de NO_x inférieure à 350 mg/Nm^3 (associées à une teneur en oxygène de 3 %),
- économies d'énergie lorsque la conception le permet ;

5. Emploi de revêtements sans goudron pour le plancher de coulée ;

6. Traitement des gaz de haut fourneau avec dépoussiérage efficace ;

Il est préférable d'éliminer les grosses particules par des techniques de séparation à sec (déflecteur, par exemple) et de les réutiliser. Les particules fines sont ensuite éliminées :

- par dépoussiéreur *ou*
- par séparateur électrostatique *ou*
- par toute autre technique offrant une même efficacité d'élimination ;

Il est possible d'atteindre une concentration résiduelle de particules inférieure à 10 mg/Nm^3 .

7. Dépoussiérage de la halle de coulée (trous et rigoles de coulée, écumeurs de laitier, points de chargement de la poche tonneau) ;

Les rejets doivent être réduits au minimum en couvrant les rigoles de coulée et en évacuant les sources d'émission mentionnées avec une purification par filtration sur tissu ou précipitation électrostatique. Des taux d'empoussièrment de 1 à 15 mg/Nm^3 peuvent être obtenus. En ce qui concerne les émissions fugaces, un empoussièrment de 5 à 15 g de poussières par tonne de fonte brute peut être atteint. De ce fait, l'efficacité du captage des fumées est importante ;

Élimination des fumées par l'emploi d'azote (sous certaines conditions, par exemple lorsque la conception de la halle de coulée le permet et que de l'azote est disponible).

8. Traitement des eaux usées issues du lavage des gaz de haut fourneau :

- réutilisation maximale des eaux de lavage,
- coagulation ou sédimentation des matières en suspension (en moyenne annuelle, une quantité résiduelle de matières en suspension inférieure à 20 mg/l peut être atteinte, même si ponctuellement une valeur journalière peut atteindre 50 mg/l),
- hydrocyclonage des boues et réutilisation de la fraction grossière lorsque la répartition granulométrique permet une séparation raisonnable.

9. Réduction au minimum des rejets lors du traitement du laitier et réduction au minimum de la mise en décharge du laitier.

Lorsque les conditions du marché le permettent, le traitement du laitier par granulation est privilégié.

Condensation des fumées lorsqu'une atténuation des odeurs est requise.

Lorsque du laitier de fosse est produit, il convient de réduire ou d'éviter, autant que possible et lorsque l'espace disponible le permet, le refroidissement à l'eau.

10. Réduction au minimum des déchets et des sous-produits solides.

Dans le cas des déchets solides, les techniques suivantes sont considérées comme MTD, par ordre de priorité décroissant :

- réduction au minimum de la production de déchets solides,
- utilisation efficace (recyclage ou réemploi) des déchets et des sous-produits solides ; en particulier, recyclage des grosses poussières provenant du traitement des gaz de haut fourneau et des poussières de halle de coulée, réutilisation complète du laitier (par exemple dans les cimenteries ou dans la construction routière),
- mise en décharge contrôlée des déchets et des sous-produits inévitables (fraction fine de boues résultant du traitement des gaz de haut fourneau, une partie des granulats).

En principe, compte tenu de la préface et pour autant que les conditions de départ soient remplies, les techniques mentionnées aux points 1 à 10 sont applicables aussi bien aux nouvelles installations qu'aux installations déjà existantes.

MTD pour l'aciérie à oxygène et la coulée (Chapitre 8)

L'aciérie à oxygène a pour objectif d'oxyder les impuretés indésirables encore contenues dans la fonte liquide provenant du haut fourneau. Elle comprend le prétraitement de la fonte, le processus d'oxydation dans le convertisseur à oxygène, le traitement métallurgique secondaire et la coulée (continue et/ou en lingotière). Les principaux problèmes environnementaux sont les rejets dans l'atmosphère des différentes sources décrites et les différents déchets et sous-produits solides également décrits. Par ailleurs, le dépoussiérage (quand il est pratiqué) et la coulée continue produisent des eaux usées. Par conséquent, les techniques à prendre en compte dans la détermination des MTD couvrent ces aspects, ainsi que la récupération des fumées des convertisseurs à oxygène. Les conclusions traitent principalement de la réduction au minimum des émissions de poussières à partir des différentes sources et des mesures pour réemployer ou recycler les déchets et sous-produits solides, ainsi que des eaux usées de dépoussiérage et de la récupération des fumées des convertisseurs à oxygène.

Dans le cas de l'aciérie à oxygène et de la coulée, les techniques ou combinaisons de techniques suivantes sont considérées comme MTD.

1. Réduction des particules provenant du prétraitement de la fonte (y compris les transferts, la désulfuration et le décarburage de la fonte liquide) par :

- évacuation efficace, *et*
- purification via la filtration sur tissu ou la précipitation électrostatique.

L'emploi de filtres à manche et de la précipitation électrostatique permet d'atteindre respectivement des concentrations d'émissions de 5 à 15 mg/Nm³ et de 20 à 30 mg/Nm³.

2. Récupération et dépoussiérage primaire des fumées des convertisseurs à oxygène par :

- suppression de la combustion *et*
- précipitation électrostatique à sec (dans les situations nouvelles et existantes) *ou*
- lavage (dans les situations existantes).

Les fumées des convertisseurs à oxygène recueillies sont nettoyées puis stockées en vue de servir ultérieurement de combustible. Dans certains cas, il se peut que la récupération des fumées des convertisseurs à oxygène ne soit pas rentable ou pas possible en termes de gestion adéquate de l'énergie. Les fumées des convertisseurs à oxygène peuvent alors être brûlées pour produire de la vapeur. Le type de combustion (combustion complète ou suppression de la combustion) dépend de la gestion locale de l'énergie.

Les poussières et/ou boues collectées doivent être recyclées autant que possible. Elles présentent habituellement une forte teneur en zinc. Il convient d'accorder une attention particulière aux émissions de particules à partir de l'orifice de la lance. Ce dernier doit être couvert pendant le soufflage à l'oxygène et, si nécessaire, des gaz inertes doivent y être injectés pour évacuer ces particules.

3. Dépoussiérage secondaire, par :

- évacuation efficace pendant l'enfournement et la coulée, suivie d'une purification par filtration sur tissu ou par précipitation électrostatique, ou encore par toute autre technique offrant une efficacité de dépoussiérage comparable. Une efficacité de captage de près de 90 % est réalisable ; des teneurs en poussières de 5 à 15 mg/Nm³ dans le cas des filtres à manche et de 20 à 30 mg/Nm³ dans celui de la précipitation électrostatique peuvent être atteintes. Les poussières présentent habituellement une forte teneur en zinc.
- évacuation efficace pendant la manipulation de la fonte (opérations de transvasement des poches), son décrassage et les traitements métallurgiques secondaires, suivie d'une purification par filtration sur tissu ou toute autre technique offrant une efficacité de dépoussiérage comparable. Pour ces opérations, des facteurs d'émission inférieurs à 5 g/t d'acier brut liquide peuvent être obtenus.
- suppression des fumées au moyen de gaz inertes pendant le transvasement de la fonte liquide de la poche tonneau (ou de la poche mélangeuse) vers la poche de chargement, afin de réduire au minimum la production de fumées et de poussières.

4. Minimisation/réduction des rejets dans l'eau issus du dépoussiérage primaire par voie humide des gaz de convertisseurs à oxygène, par des mesures telles que :

- l'épuration des fumées de convertisseurs à sec, applicable lorsque l'espace disponible est suffisant,
- le recyclage des eaux de lavage, autant que possible (par exemple, par injection de CO₂ dans le cas de systèmes sans combustion),
- la floculation et la sédimentation des matières en suspension ; une concentration de 20 mg/l de matières en suspension peut être obtenue.

5. Réduction des rejets dans l'eau de refroidissement direct au niveau des machines de coulée continue, par :

- recyclage, autant que possible, des eaux de process et de refroidissement,
- floculation et sédimentation des matières en suspension,
- déshuilage dans des cuves d'écumage ou tout autre dispositif de même efficacité,

6 Réduction au minimum des déchets solides

Dans le cas de la production des déchets solides, les techniques suivantes sont considérées comme MTD, par ordre de priorité décroissant :

- réduction au minimum de la production de déchets,
- utilisation efficace (recyclage ou réutilisation) des déchets ou des sous-produits solides ; en particulier, recyclage du laitier de convertisseur et des poussières (grosses et fines) résultant du traitement des fumées de convertisseur,
- mise en décharge contrôlée des déchets inévitables.

En principe, compte tenu de la préface, en l'absence d'indications contraires et quand les conditions préalables sont remplies, les techniques mentionnées aux points 1 à 6 sont applicables aussi bien aux nouvelles installations qu'aux installations déjà existantes.

MTD pour les aciéries électriques, y compris la coulée (Chapitre 9)

La fusion directe de matériaux ferreux, essentiellement des ferrailles, s'effectue habituellement dans des fours à arc électrique, très gourmands en énergie électrique et gros producteurs de rejets dans l'atmosphère, de déchets et de sous-produits solides (essentiellement des poussières de filtration et du laitier). Les rejets dans l'atmosphère de ces fours couvrent un large éventail de composés inorganiques (poussières d'oxyde de fer et de métaux lourds) et de composés organiques tels que les composés organochlorés importants que sont le chlorobenzène, les PCB et les PCDD/F. Les techniques à prendre en compte dans la détermination des MTD en sont le reflet et sont axées sur ces préoccupations. En ce qui concerne les rejets dans l'atmosphère, les poussières et les PCDD/F sont les paramètres les plus importants cités dans les conclusions. Le préchauffage des ferrailles est également considéré comme une MTD, au même titre que le recyclage et le réemploi du laitier et des poussières.

Dans le cas des aciéries électriques (coulée incluse), les techniques ou combinaisons de techniques suivantes sont considérées comme MTD.

1. Efficacité du captage des poussières par :

- extraction directe des effluents gazeux (4^{ème} ou 2^{ème} trou) associée à des systèmes de hottes, *ou*
- systèmes de confinement (dog-house) et de hottes, *ou*
- confinement complet des installations.

Le captage des émissions primaires et secondaires des fours à arc électrique peut être efficace à 98 % (ou plus).

2. Dépoussiérage des gaz résiduels par :

- des filtres en tissu bien conçus qui laissent passer moins de 5 mg de poussières par Nm³ pour les installations nouvelles et moins de 15 mg par Nm³ pour les installations déjà existantes (valeurs moyennes journalières pour les deux).

La réduction au minimum de la teneur en poussières va de pair avec celle des émissions de métaux lourds, sauf pour les métaux lourds sous forme gazeuse, comme le mercure.

3. Réduction au minimum des composés organochlorés (notamment des émissions de PCDD/F et de PCB), par :

- post-combustion appropriée à l'intérieur des conduits d'effluents gazeux ou dans une chambre de post-combustion séparée, suivie d'une extinction rapide afin d'éviter une synthèse de novo ; *et/ou*
- injection de poudre de lignite dans le conduit, en amont des filtres en tissu.

Des concentrations de PCDD/F de 0,1 à 0,5 ng I-TEQ/Nm³ peuvent être atteintes dans les rejets.

4. Préchauffage des ferrailles (combiné avec le point 3) afin de récupérer la chaleur sensible contenue dans les effluents gazeux primaires :

- préchauffage d'une partie des ferrailles permet d'économiser environ 60 kWh/t et celui de la totalité des ferrailles jusqu'à 100 kWh/t d'acier brut liquide. L'applicabilité du préchauffage des ferrailles dépend des circonstances locales et doit être démontrée au cas par cas. Le préchauffage des ferrailles peut entraîner un rejet accru de polluants organiques auquel il faut rester attentif.

5. Réduction au minimum des déchets et des sous-produits solides :

Dans le cas des déchets solides, les techniques suivantes sont considérées comme MTD, par ordre de priorité décroissant :

- réduction au minimum de la production de déchets ;
- réduction au minimum des déchets par recyclage du laitier des fours électriques et des poussières de filtration. Selon les circonstances locales, les poussières de filtration peuvent être renvoyées vers le four électrique afin de parvenir à un enrichissement en zinc pouvant atteindre 30 %. Les poussières de filtration présentant une teneur en zinc de plus de 20 % sont utilisables dans l'industrie des métaux non ferreux ;
- les poussières de filtration résultant de la production d'aciers fortement alliés peuvent être traitées pour récupérer les métaux d'alliage ;
- en ce qui concerne les déchets solides inévitables ou impossibles à recycler, il convient d'abaisser les quantités produites. En cas d'obstacle à cet abaissement et/ou réemploi, la mise en décharge contrôlée est la seule solution.

6. Rejets dans l'eau :

- refroidissement des équipements du four par des circuits d'eau fermés,
- eaux résiduaires de coulée continue :
 - recyclage des eaux de refroidissement, autant que possible,
 - précipitation ou sédimentation des matières en suspension,
 - déshuilage dans des cuves d'écumage ou par tout autre dispositif efficacité équivalente.

En principe, compte tenu de la préface, les techniques mentionnées aux points 1 à 6 sont applicables aussi bien aux nouvelles installations qu'aux installations déjà existantes.

Degré de consensus

Ce BREF bénéficie d'un vaste consensus. Aucune divergence de vue n'a été constatée pendant les discussions du TWG et du forum d'échange d'informations (IEF). Un large accord s'est dégagé sur le document.

Préface

1. Statut du présent document

Sauf indication contraire, les références à « la directive » dans le présent document renvoient à la directive 96/61/CE du Conseil du 24 septembre 1996 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution. Le présent document fait partie d'une série de documents présentant les résultats d'un échange d'informations entre les États membres de l'UE et les industries intéressées au sujet des meilleures techniques disponibles (MTD), des prescriptions de contrôle y afférentes et de leur évolution. Il est publié par la Commission européenne en application de l'article 16, paragraphe 2 de la directive, et doit donc être pris en considération, conformément à l'annexe IV de la directive lors de la détermination des « meilleures techniques disponibles ».

2. Obligations légales prévues par la directive IPPC et définition des MTD

Afin de clarifier le contexte juridique dans lequel le présent document a été rédigé, certaines des principales dispositions de la directive IPPC, dont la définition de l'expression « meilleures techniques disponibles » sont décrites dans la présente préface. Cette description est inévitablement incomplète et n'est donnée qu'à titre d'information. Elle n'a pas de valeur juridique et ne modifie ou ne porte atteinte en aucun cas aux dispositions de la directive.

La directive a pour objet la prévention et la réduction intégrées de la pollution provenant des activités listées dans son annexe I, afin de garantir un niveau élevé de protection de l'environnement dans son ensemble. La base juridique de cette directive est liée aux objectifs de protection de l'environnement. Lors de sa mise en œuvre, il conviendra de tenir également compte d'autres objectifs de la Communauté, comme la compétitivité de l'industrie communautaire, ce qui permettra de contribuer au développement durable.

Plus spécifiquement, la directive prévoit un système d'autorisation pour certaines catégories d'exploitations industrielles, en vertu duquel les exploitants et régulateurs sont invités à adopter une approche globale intégrée en ce qui concerne les risques de pollution et le potentiel de consommation associés à l'installation. L'objectif de cette approche intégrée est d'améliorer la gestion et le contrôle des procédés industriels, afin de parvenir à un niveau élevé de protection de l'environnement dans son ensemble. Le principe général présenté dans l'article 3 constitue la pierre angulaire de cette approche. Il stipule que les exploitants doivent prendre toutes les mesures de prévention appropriées contre les pollutions, notamment en ayant recours aux meilleures techniques disponibles afin d'améliorer leur performance environnementale.

L'expression « meilleures techniques disponibles » est définie à l'article 2, paragraphe 11 de la directive comme « le stade de développement le plus efficace et avancé des activités et de leurs modes d'exploitation, démontrant l'aptitude pratique de techniques particulières à constituer, en principe, la base des valeurs limites d'émission visant à éviter et, lorsque cela s'avère impossible, à réduire de manière générale les émissions et l'impact sur l'environnement dans son ensemble ». L'article 2, paragraphe 11 précise ensuite cette définition de la façon suivante :

- Par « techniques », on entend aussi bien les techniques employées que la manière dont l'installation est conçue, construite, entretenue, exploitée et mise à l'arrêt ;
- Par « disponibles », on entend les techniques mises au point sur une échelle permettant de les appliquer dans le contexte du secteur industriel concerné, dans des conditions économiquement et techniquement viables, en prenant en considération les coûts et les avantages, que ces techniques soient utilisées ou produites ou non sur le territoire de l'État membre intéressé, pour autant que l'exploitant concerné puisse y avoir accès dans des conditions raisonnables ;

- Par « meilleures », on entend les techniques les plus efficaces pour atteindre un niveau général élevé de protection de l'environnement dans son ensemble.

En outre, l'annexe IV de la directive contient une liste de « considérations à prendre en compte en général ou dans un cas particulier lors de la détermination des meilleures techniques disponibles [...] compte tenu des coûts et des avantages pouvant résulter d'une action, et des principes de précaution et de prévention ». Ces considérations comprennent les informations publiées par la Commission en vertu de l'article 16, paragraphe 2.

Les autorités compétentes chargées de délivrer les autorisations sont invitées à tenir compte des principes généraux définis à l'article 3, lorsqu'elles établissent les conditions de l'autorisation. Ces conditions doivent comporter les valeurs limites d'émission, qui peuvent être complétées ou remplacées, le cas échéant, par des paramètres ou des mesures techniques équivalentes. Conformément à l'article 9, paragraphe 4 de la directive, ces valeurs limites d'émission, paramètres et mesures techniques équivalents doivent, sans préjudice du respect des normes de qualité environnementale, se fonder sur les meilleures techniques disponibles, sans prescrire l'utilisation d'une technique ou d'une technologie spécifique, et en prenant en considération les caractéristiques techniques de l'installation concernée, son implantation géographique et les conditions locales de l'environnement. Dans tous les cas, les conditions d'autorisation doivent prévoir des dispositions relatives à la minimisation de la pollution à longue distance ou transfrontière et garantir un niveau élevé de protection de l'environnement dans son ensemble.

Les États membres ont l'obligation, en vertu de l'article 11 de la directive, de veiller à ce que les autorités compétentes se tiennent informées ou sont informées de l'évolution des meilleures techniques disponibles.

3. Objectif du présent document

L'article 16, paragraphe 2, de la directive invite la Commission à organiser « un échange d'informations entre les États membres et les industries intéressées au sujet des meilleures techniques disponibles, des prescriptions de contrôle y afférentes et de leur évolution » et à publier les résultats de cet échange.

L'objet de l'échange d'informations est défini au considérant 25 de la directive, qui prévoit que « les progrès et les échanges d'informations au niveau communautaire en ce qui concerne les meilleures techniques disponibles permettront de réduire les déséquilibres au plan technologique dans la Communauté, favoriseront la diffusion au plan mondial des valeurs limites et des techniques utilisées dans la Communauté et aideront les États membres dans la mise en œuvre efficace de la présente directive. »

La Commission (DG Environnement) a mis en place un forum d'échange d'informations (IEF) pour faciliter les travaux entrepris en application de l'article 16, paragraphe 2. Un certain nombre de groupes de travail techniques ont par ailleurs été créés sous l'égide de l'IEF. L'IEF comme les groupes de travail techniques sont composés de représentants des États membres et de l'industrie, comme le prévoit l'article 16, paragraphe 2.

La présente série de documents a pour objet de refléter précisément l'échange d'informations qui a été établi conformément à l'article 16, paragraphe 2, et de fournir des informations de référence à l'instance chargée de la délivrance des autorisations pour qu'elle les prenne en compte lors de la définition des conditions d'autorisation. En fournissant des informations pertinentes relatives aux meilleures techniques disponibles, ces documents doivent devenir des outils précieux pour l'amélioration de la performance environnementale.

4. Sources d'information

Le présent document est le résumé des informations recueillies à partir d'un certain nombre de sources, y compris notamment l'expertise des groupes mis en place pour assister la Commission dans son travail, puis vérifiées par les services de la Commission. Il convient de remercier ici les auteurs de toutes ces contributions.

5. Compréhension et utilisation du présent document

Les informations contenues dans le présent document sont prévues pour servir de base à la détermination des MTD pour des cas précis. Lors de la détermination de ces MTD et de la fixation des conditions d'autorisation, l'objectif global, qui est de parvenir à un niveau élevé de protection de l'environnement dans son ensemble, ne doit jamais être perdu de vue.

Le reste de ce paragraphe décrit le type d'informations présentées dans chaque partie du document.

Les chapitres 1, 2 et 3 contiennent des informations générales sur le secteur industriel concerné et la première section des chapitres 4 à 9 fournit des informations sur les procédés industriels utilisés dans ce secteur. La deuxième section des chapitres 4 à 9 contient des données relatives aux niveaux actuels d'émission et de consommation qui reflètent la situation dans les installations déjà existantes au moment de la publication.

La troisième section des chapitres 4 à 9 décrit de manière plus détaillée les techniques de réduction des émissions et d'autres techniques considérées comme les plus pertinentes pour la détermination des meilleures techniques disponibles et des conditions d'autorisation. Ces informations indiquent les niveaux de consommation et d'émission qu'il est possible d'atteindre avec la technique considérée, donnent une idée des coûts et des effets multilatéraux (effets croisés) relatifs à cette technique et précisent dans quelle mesure celle-ci est applicable aux différentes installations (nouvelles, déjà existantes, de petite ou de grande dimension, par exemple) nécessitant des autorisations en matière de prévention et de réduction de la pollution. Les techniques généralement considérées comme dépassées ne sont pas incluses.

Les conclusions des chapitres 4 à 9 présentent les techniques et les niveaux d'émission et de consommation jugés compatibles avec les meilleures techniques disponibles au sens général. Le but est ainsi d'apporter des indications générales sur les niveaux d'émission et de consommation qu'il est possible de considérer comme des valeurs de référence appropriées pour servir de base à la détermination de conditions d'autorisation reposant sur les meilleures techniques disponibles ou à l'établissement des prescriptions contraignantes générales mentionnées à l'article 9, paragraphe 8. Il faut cependant souligner que ce document ne propose pas de valeurs limites d'émission. La détermination des conditions d'autorisation appropriées supposera la prise en compte de facteurs locaux inhérents au site, tels que les caractéristiques techniques de l'installation concernée, son implantation géographique et les conditions environnementales locales. Dans le cas des installations déjà existantes, il faut en outre tenir compte de la viabilité économique et technique de leur amélioration. Le seul objectif consistant à assurer un niveau élevé de protection de l'environnement dans son ensemble impliquera déjà souvent de faire des compromis entre différents types d'incidences sur l'environnement et ces compromis seront souvent influencés par des considérations locales.

Bien que ce document cherche à aborder certains des problèmes évoqués, il ne pourra pas les traiter tous de manière exhaustive. Les techniques et niveaux présentés dans les conclusions relatives aux meilleures techniques disponibles des chapitres 4 à 9 ne seront donc pas forcément appropriés pour toutes les installations. Par ailleurs, l'obligation de garantir un niveau élevé de protection de l'environnement, y compris la réduction des pollutions sur de longues distances ou transfrontières, suppose que les conditions d'autorisation ne pourront pas être définies sur la base de considérations purement locales. C'est pourquoi il est de la plus haute importance que les autorités chargées de délivrer les autorisations tiennent compte de toutes les informations présentées dans le présent document.

Étant donné que les meilleures techniques disponibles sont modifiées au fil du temps, le présent document sera révisé et mis à jour, le cas échéant. Toutes les éventuelles observations et propositions peuvent être envoyées au Bureau européen IPPC de l'Institut de prospective technologique, à l'adresse suivante :

Edificio Expo-WTC, c/ Inca Garcilaso, s/n, E-41092 Séville, Espagne

Téléphone : +34 95 4488 284

Télécopieur : +34 95 4488 426

Courriel : eippcb@jrc.es

Internet : <http://eippcb.jrc.es>

Documentation de référence sur les meilleures techniques disponibles pour la production de fer et d'acier

Résumé.....	i
Préface.....	xvii
PORTÉE DU TRAVAIL.....	xli
<u>1 Informations générales</u>	1
<u>1.1 Production sidérurgique globale en Europe et dans le monde</u>	1
<u>1.2 Répartition géographique de la production sidérurgique dans l'UE</u>	3
<u>1.3 Investissements et emploi dans l'industrie sidérurgique de l'EU</u>	10
<u>1.4 Situation économique</u>	11
<u>1.5 Impact environnemental de l'industrie sidérurgique</u>	12
<u>2 STOCKAGE et manutention des matières premières</u>	19
<u>3 Production de l'acier - aperçu général</u>	21
<u>3.1 Les différentes méthodes de production d'acier</u>	21
<u>3.2 Aciéries intégrées</u>	22
<u>3.2.1 Aperçu général des procédés</u>	22
<u>3.2.2 Interdépendance entre les différents procédés ou unités de production au niveau de l'énergie, des sous-produits et résidus, de l'air et de l'eau</u>	25
<u>3.2.2.1 Énergie</u>	25
<u>3.2.2.2 Résidus et sous-produits solides</u>	28
<u>3.2.2.3 Eau</u>	30
<u>4 Installations d'agglomération</u>	33
<u>4.1 Procédés et techniques appliqués</u>	33
<u>4.1.1 Objectif du procédé d'agglomération</u>	33
<u>4.1.2 Mélange des matières premières</u>	33
<u>4.1.3 Exploitation des bandes d'agglomération</u>	35
<u>4.1.4 Criblage à chaud et refroidissement de l'aggloméré</u>	37
<u>4.2 Niveaux de consommation et d'émission actuels</u>	39

4.2.1	<u>Vue d'ensemble des flux entrants et sortants</u>	39
4.2.2	<u>Information sur les différents flux d'émission</u>	44
4.2.2.1	<u>Informations détaillées sur les émissions dans l'atmosphère</u>	44
4.2.2.1.1	<u>Émissions de particules issues du traitement, du concassage, du criblage et du transport de la charge d'alimentation et de l'aggloméré produit</u>	44
4.2.2.1.2	<u>Émissions de gaz résiduels issus de la bande d'agglomération</u>	44
4.2.2.1.2.1	<u>Général</u>	44
4.2.2.1.2.2	<u>Poussières</u>	45
4.2.2.1.2.3	<u>Métaux lourds</u>	47
4.2.2.1.2.4	<u>Chlorures alcalins</u>	48
4.2.2.1.2.5	<u>Oxydes de soufre (SO_x)</u>	48
4.2.2.1.2.6	<u>Fluorures</u>	51
4.2.2.1.2.7	<u>Oxydes d'azote (NO_x)</u>	52
4.2.2.1.2.8	<u>Hydrocarbures</u>	53
4.2.2.1.2.9	<u>Polychlorodibenzo-para-dioxines et polychlorodibenzo-para-furannes (PCDD/F)</u>	53
4.2.2.1.2.10	<u>Biphényles polychlorés (PCB)</u>	56
4.2.2.1.2.11	<u>Autres composés organohalogénés</u>	56
4.2.2.1.2.12	<u>Hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH)</u>	56
4.2.2.1.3	<u>Émissions de particules issues du refroidisseur d'aggloméré</u>	57
4.2.2.2	<u>Informations sur les émissions dans l'eau</u>	57
4.2.2.2.1.1	<u>Eaux de rinçage</u>	57
4.2.2.2.1.2	<u>Eaux de refroidissement</u>	57
4.2.2.2.1.3	<u>Eaux usées issues du traitement des gaz résiduels</u>	57
4.2.2.3	<u>Informations sur les déchets solides</u>	58
4.2.2.4	<u>Informations sur les aspects énergétiques</u>	58
4.2.2.5	<u>Informations sur les émissions sonores</u>	58
4.3	<u>Techniques à prendre en compte lors de la détermination des MTD</u>	59
4.3.1	<u>Techniques intégrées au process</u>	59

4.3.2	Techniques appliquées en fin de process	59
4.3.3	Techniques intégrées au process	61
4.3.4	Techniques appliquées en fin de process	80
4.4	Conclusions	106
4.5	Techniques émergentes et développements futurs	110
4.5.1	Élimination des PCDD/F	110
5	INSTALLATIONS DE PELLETISATION	113
5.1	Procédés et techniques appliqués	113
5.1.1	Broyage et séchage/déshydratation	114
5.1.2	Préparation des boulettes « vertes »	114
5.1.3	Durcissement	115
5.1.3.1	Méthode de la grille droite	115
5.1.3.2	Méthode du four à grille	116
5.1.4	Criblage et manutention	117
5.2	Niveaux de consommation et d'émission actuels	118
5.2.1	Vue d'ensemble des flux entrants et sortants	118
5.2.2	Informations sur les différents flux d'émission	120
5.2.2.1	Émissions de particules au cours du broyage	120
5.2.2.2	Émissions de NO_x au cours du durcissement et du séchage	121
5.2.2.3	Émissions de particules et d'effluents gazeux depuis la bande de durcissement	121
5.2.2.4	Émissions de SO₂ au cours du durcissement	121
5.2.2.5	Émissions de HCl et de HF au cours du durcissement	121
5.2.2.6	Eaux usées	121
5.2.2.7	Déchets solides	122
5.2.2.8	Consommation en énergie	122
5.3	Techniques à prendre en compte lors de la détermination des MTD	123
5.4	Conclusions	130
5.5	Techniques émergentes	133

5.5.1	Réduction intégrée au processus des émissions de NO_x au niveau de la bande de durcissement	133
5.5.2	Agglomération à froid de pellets/briquettes	133
5.5.3	Autres techniques possibles	134
6	Cokeries	137
6.1	Procédés et techniques appliqués	137
6.1.1	Manutention du charbon	140
6.1.2	Fonctionnement d'une batterie de fours à coke	140
6.1.2.1	Enfournement du charbon	141
6.1.2.2	Chauffage/cuisson dans les chambres	142
6.1.2.3	Cokéfaction	144
6.1.2.4	Défournement et extinction du coke	145
6.1.2.5	Manutention et criblage du coke	146
6.1.3	Collecte et traitement du gaz de cokerie avec récupération des sous-produits	146
6.1.3.1	Refroidissement du gaz	148
6.1.3.2	Récupération du goudron du gaz de cokerie	149
6.1.3.3	Désulfuration du gaz de cokerie	149
6.1.3.4	Récupération de l'ammoniac contenu dans le gaz de cokerie	150
6.1.3.5	Récupération de l'huile légère contenue dans le gaz de cokerie	150
6.1.4	Flux d'eau dans les fours à coke	151
6.2	Niveaux de consommation et d'émission actuels	154
6.2.1	Vue d'ensemble des flux entrants et sortants	154
6.2.2	Informations sur les émissions dans l'air	160
6.2.3	Informations sur les émissions dans l'eau	160
6.2.3.1	Émissions continues dans l'eau	160
6.2.3.1.1	Quantités	160
6.2.3.1.2	Eaux usées en provenance de la cokerie	161
6.2.3.1.3	Eaux usées issues des procédés de désulfuration par oxydation humide	161
6.2.3.1.4	Eau de refroidissement	163

6.2.3.2	Émissions discontinues dans l'eau	163
6.2.3.2.1	Extinction du coke par voie humide	163
6.2.4	Consommation d'énergie	164
6.2.5	Pollution du sol	165
6.3	Techniques à prendre en compte lors de la détermination des MTD	166
6.4	Conclusions	212
6.5	Techniques émergentes et évolutions futures	217
7	HAUTS FOURNEAUX	219
7.1	Procédés mis en œuvre	219
7.1.1	Chargement	221
7.1.2	Cowpers	222
7.1.3	Haut fourneau	223
7.1.3.1	Généralités	223
7.1.3.2	Gaz de haut fourneau	224
7.1.3.3	Zinc et plomb	224
7.1.4	Injection directe d'agents réducteurs	225
7.1.5	Coulée	225
7.1.6	Traitement du laitier	226
7.1.6.1	Traitement du laitier par granulation	226
7.1.6.2	Traitement du laitier en fosse	228
7.1.6.3	Traitement du laitier par pelletisation	228
7.2	Niveaux d'émission et de consommation actuels	229
7.2.1	Vue d'ensemble des flux entrants et sortants	229
7.2.2	Informations sur les différents flux d'émission et la consommation d'énergie	234
7.2.2.1	Émissions de gaz résiduaux	234
7.2.2.1.1	Gaz de combustion provenant des cowpers	234
7.2.2.1.2	Émissions lors du chargement et du transport	235
7.2.2.1.3	Gaz de haut fourneau (émission indirecte)	235

7.2.2.1.4	Émissions de la halle de coulée	237
7.2.2.1.5	Émissions issues du traitement du laitier	238
7.2.2.2	Émissions des déchets et des sous-produits solides	238
7.2.2.2.1	Particules issues de la coulée	238
7.2.2.2.2	Poussières et boues issues du traitement des gaz de haut fourneau	238
7.2.2.2.3	Laitier issu de hauts fourneaux	240
7.2.2.3	Émissions d'eaux usées	241
7.2.2.3.1	Eau de surverse issue du traitement des gaz de haut fourneau	241
7.2.2.3.2	Eaux usées issues de la granulation du laitier	242
7.2.2.3.3	Mise à l'arrêt des circuits de refroidissement à l'eau	243
7.2.2.4	Énergie et besoins en agents réducteurs	243
7.3	Techniques à prendre en compte lors de la détermination des MTD	245
7.4	Conclusions	267
7.5	Techniques émergentes et développements futurs	270
8	sidérurgie et coulée À l'oxygène	273
8.1	Procédés et techniques appliqués	274
8.1.1	Transfert et stockage de la fonte	275
8.1.2	Prétraitement de la fonte	276
8.1.3	Oxydation dans le convertisseur à oxygène	277
8.1.4	Traitement métallurgique secondaire	282
8.1.5	Coulée	285
8.1.5.1	Coulée continue	285
8.1.5.2	Coulée en lingotière	287
8.2	Niveaux d'émission et de consommation actuels	288
8.2.1	Vue d'ensemble des flux entrants et sortants	288
8.2.2	Informations sur les différents flux d'émission et la consommation d'énergie	293
8.2.2.1	Émissions de gaz résiduaux	294
8.2.2.1.1	Effluents gazeux primaires	294

8.2.2.1.1.1	Émissions résultant du prétraitement de la fonte brute	294
8.2.2.1.1.2	Émissions occasionnées par le soufflage à l'oxygène et gaz de convertisseur à oxygène	294
8.2.2.1.1.3	Émissions provenant des poches de coulée, fours-poches, convertisseurs à oxygène et autres équipements servant au traitement métallurgique secondaire	298
8.2.2.1.2	Effluents gazeux secondaires	298
8.2.2.2	Déchets et sous-produits solides	299
8.2.2.2.1	Laitier de désulfuration	299
8.2.2.2.2	Laitier de convertisseur à oxygène	300
8.2.2.2.3	Projections	301
8.2.2.2.4	Grosses poussières issues du traitement des gaz de convertisseur à oxygène	301
8.2.2.2.5	Poussières fines et boues issues du traitement des gaz de convertisseur à oxygène	302
8.2.2.2.6	Laitier et battitures de coulée continue	303
8.2.2.2.7	Granulats	303
8.2.2.3	Émissions d'eaux usées	303
8.2.2.3.1	Eaux de lavage issues du traitement des gaz de convertisseur à oxygène	303
8.2.2.3.2	Eaux usées issues de la formation de vide	304
8.2.2.3.3	Eaux usées de coulée continue	304
8.2.2.4	Besoins en énergie	304
8.2.2.4.1	Convertisseur à oxygène (convertisseur)	304
8.2.2.4.2	Coulée continue	304
8.3	Techniques à prendre en compte lors de la détermination des MTD	305
8.4	Conclusions	335
8.5	Techniques émergentes et développements futurs	339
9	Aciérie électrique et coulée de l'acier	343
9.1	Procédés et techniques appliqués	343
9.1.1	Manutention et stockage des matières premières	346
9.1.2	Préchauffage de la ferraille	346
9.1.3	Chargement du four	347

9.1.4	Fusion et affinage dans le four à arc	347
9.1.5	La coulée de l'acier et du laitier	348
9.1.6	Métallurgie secondaire	348
9.1.7	Manipulation du laitier	349
9.1.8	Coulée continue	349
9.2	Consommation actuelle et niveaux d'émission	350
9.2.1	9.2.1. Vue d'ensemble des flux entrants et sortants	350
9.2.2	Informations sur les différents flux d'émission, le bruit et la consommation d'énergie 352	
9.2.2.1	Emissions atmosphériques	352
9.2.2.1.1	Emissions du circuit primaire	352
9.2.2.1.1.1	Emissions directement dans le four à arc électrique	352
9.2.2.1.1.2	Les gaz émis lors du procédé de métallurgie secondaire	358
9.2.2.1.2	Les émissions gazeuses secondaires provenant de la manutention et du chargement de la ferraille, de la coulée de l'acier, de la seconde métallurgie avec les opérations de coulée, et de la coulée continue	358
9.2.2.1.3	Emanations lors du traitement du laitier	359
9.2.2.2	Déchets et sous-produits	359
9.2.2.2.1	Laitier provenant d'acier carbone/ acier faiblement allié/ acier fortement allié	359
9.2.2.2.2	Poussières provenant du traitement des gaz	361
9.2.2.2.3	Les briques réfractaires	363
9.2.2.3	Emissions d'eaux usagées	363
9.2.2.3.1	Eaux de ruissellement provenant des parcs à ferraille	363
9.2.2.3.2	Eaux usagées provenant des épurateurs de gaz	364
9.2.2.3.3	Eaux usées provenant de la coulée continue	364
9.2.2.4	Contamination des sols	364
9.2.2.5	Bruit	364
9.3	Les techniques à prendre en compte pour la détermination des MTD	365
9.3.1	Les mesures intégrées au process (Process Integrated : PI)	365
9.3.1.1	PI 1 : Optimisation du process du four à arc électrique	365

9.3.1.2	<u>PI 2 : Le préchauffage de la ferraille</u>	372
9.3.1.3	<u>PI 3 : Système de refroidissement par un circuit d'eau fermé</u>	375
9.3.2	<u>Les techniques de fin de process (End-of-pipe techniques : EP)</u>	376
9.3.2.1	<u>EP 1 : Systèmes avancés de captage des émissions</u>	376
9.3.2.2	<u>EP2 : Post combustion efficace avec traitement avancé des gaz</u>	378
9.3.2.3	<u>EP3 : Injection de poudre de coke de lignite pour le traitement des émissions gazeuses</u> 381	
9.3.2.4	<u>EP4 : Recyclage des laitiers des aciéries électriques</u>	382
9.3.2.5	<u>EP5 : Réutilisation des poussières des aciéries</u>	384
9.4	<u>Conclusions</u>	387
10	<u>nouvelles Techniques alternatives de production de fer</u>	391
10.1	<u>Introduction</u>	391
10.2	<u>Réduction directe</u>	393
10.2.1	<u>Généralités</u>	393
10.2.2	<u>Processus disponibles</u>	393
10.2.3	<u>Effets sur l'environnement de la réduction directe</u>	394
10.3	<u>Réduction par fusion (SR)</u>	395
10.3.1	<u>Généralités</u>	395
10.3.2	<u>Corex</u>	395
10.3.3	<u>En cours de développement</u>	399
10.4	<u>Comparaison du haut fourneau, de la réduction directe et de la réduction par fusion</u>	403
11	<u>CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS</u>	409

Liste des figures

Figure 1.1 : Production d'acier brut en Europe et dans le monde depuis 1870 – [Stat. Stahl, 1997].....	1
Figure 1.2 : Production d'acier des fours à arc électrique et des convertisseurs à oxygène dans l'UE entre 1985 et 1995 - [Stat. Stahl, 1997].....	2
Figure 1.3 : Répartition géographique des aciéries intégrées dans l'Union européenne.....	3
Figure 1.4 : Production d'acier en convertisseur à oxygène et en four à arc électrique dans les États membres de l'UE en 1996 - [Stat. Stahl, 1997].....	4
Figure 1.5 : Nombre d'installations de production de fonte brute et d'acier dans l'Europe des quinze – [Stat. Stahl, 1997 ; Stahl, 1996].....	5
Figure 1.6 : Développement de l'emploi dans l'industrie sidérurgique de l'Europe des quinze entre 1983 et 1996 - [Stat. Stahl, 1997].....	10
Figure 1.7 : Aperçu des consommations et des productions de l'industrie sidérurgique dans l'Europe des quinze en 1995 – d'après [Stat. Stahl, 1997]	12
Figure 1.8 : Émissions atmosphériques relatives pour une sélection de polluants issus des installations d'agglomération, des cokeries, des hauts fourneaux, des aciéries à l'oxygène et des fours à arc électrique	13
Figure 2.1 : Diagramme des flux de matières liés à une manutention typique dans une aciérie intégrée– [UK HMIP, 1993].....	20
Figure 3.1 : Méthodes de production de l'acier brut – [Ullmann's, 1994].....	21
Figure 3.2 : Vue aérienne d'une aciérie intégrée située près de la côte.....	22
Figure 3.3 : Aperçu de la production d'acier dans une aciérie intégrée – [UK IPR 2/1, 1994].....	25
Figure 3.4 : Exemple des flux entrants, sortants et internes dans le système énergétique d'une aciérie intégrée moderne – [Joks, 1998].....	27
Figure 3.5 : Répartition typique de la demande énergétique dans une aciérie intégrée par tonne d'acier brut – [Ullmann's, 1989].....	28
Figure 3.6 : Exemple typique de gestion des résidus et des sous-produits dans une aciérie intégrée – d'après [Bothe, 1993].....	29
Figure 3.7 : Exemple de gestion de l'eau dans une aciérie intégrée bénéficiant d'une très grande disponibilité en eau.....	31
Figure 4.1 : Photographie d'une bande d'agglomération avec l'installation de chargement (tambours ou déversoirs) et le tablier d'allumage en bout de bande	33
Figure 4.2 : Diagramme schématique d'une installation d'agglomération présentant les principaux points d'émission – [Theobald 1, 1995].....	34
Figure 4.3 : Diagramme schématique des zones de température et de réaction dans un processus d'agglomération – d'après [Dietrich, 1961]	37
Figure 4.4 : Aperçu des flux de matière d'une installation d'agglomération	39

Figure 4.5 : Profil d'émission typique de CO ₂ , CO, O ₂ et H ₂ O dans les gaz résiduaire (boîtes à vent individuelles) le long de la bande d'agglomération – d'après [Neuschütz, 1996]	45
Figure 4.6 : Répartition par poids et taille des grains de poussière issus de différentes bandes d'agglomération – d'après [Bothe, 1993].....	46
Figure 4.7 : Résistivité spécifique des poussières d'oxyde de fer, de chlorures alcalins et de sulfures – [Reiche, 1990]	46
Figure 4.8 : Profil d'émission typique de SO ₂ et de NO _x dans les gaz résiduaire (boîtes à vent individuelles) et courbe des températures le long de la bande d'agglomération – d'après [Neuschütz, 1996].....	49
Figure 4.9 : Composition moyenne de l'aggloméré en Allemagne – [Stahl, 1995]	50
Figure 4.10 : Influence de la basicité de l'aggloméré (CaO/SiO ₂) sur la résistivité spécifique des poussières – [Bothe, 1993]	51
Figure 4.11 : Relation entre la basicité du combustible d'agglomération et les émissions de fluorures – [Bothe, 1993].....	52
Figure 4.12 : Profil typique des groupes homologues des gaz résiduaire bruts d'une installation d'agglomération (avant réduction) pour 6 mesures – [Pütz, 1996]	54
Figure 4.13 : Aucune corrélation visible entre la concentration de PCDD/F et la concentration des composés organiques volatils (mesures effectuées à l'aide d'un détecteur à ionisation de flamme) dans les gaz résiduaire d'une installation d'agglomération (coefficient de corrélation r = 0,25) – [BS PCDD/F, 1998].....	55
Figure 4.14 : Profil des PCDD/F et de la température dans les gaz résiduaire le long de la bande d'agglomération – [Pütz, 1996].....	55
Figure 4.15 : Récupération de la chaleur issue de l'air de refroidissement du refroidisseur d'aggloméré – [Beer, 1991].....	68
Figure 4.16 : Bande d'agglomération entièrement recouverte, conformément au procédé EOS – [Panne, 1997]	72
Figure 4.17 : Diagramme schématique du procédé EOS (optimisation des émissions d'agglomération) – [Kersting, 1997].....	73
Figure 4.18 : Diagramme schématique de la recirculation sélective des gaz résiduaire (Nippon Steel Corporation – Yawata Works – installation n°3 de Tobata) - [Kersting, 1997].....	77
Figure 4.19 : Schéma d'un filtre à manche après le passage dans un électrofiltre pour le traitement avancé des gaz résiduaire issus d'une installation d'agglomération – [Weiss, 1996]	85
Figure 4.20 : Dosage de la poudre de coke de lignite et de la chaux ajoutées dans les gaz résiduaire issus d'une installation d'agglomération avant le passage dans le filtre à manche – [Weiss, 1996].....	86
Figure 4.21 : Efficacité d'élimination des PCDD/F dans un filtre à manche avec ajout de poudre de coke de lignite – [Weiss, 1996]	86
Figure 4.22 : Traitement des gaz résiduaire issus de l'installation d'agglomération de Voest-Alpine Stahl AG, Linz, Autriche, avec le système d'épuration fine	92

Figure 4.23 : Traitement de l'eau de lavage issue du système d'épuration fine et de l'eau issue de l'extraction des poussières filtrées par un électrofiltre dans l'installation de Voest-Alpine Stahl AG, Linz, Autriche.....	92
Figure 4.24 : Diagramme de principe d'un système de traitement des gaz résiduels avec une étape d'adsorption et un convertisseur catalytique – [Kersting, 1997 ; Philipp, 1988]	111
Figure 5.1 : Noduliseur d'une chaîne d'agglomération dans une installation de pelletisation.....	114
Figure 5.2 : Schéma d'une installation de pelletisation – [InfoMil, 1997].....	114
Figure 5.3 : Schéma du procédé de la grille droite.....	115
Figure 5.4 : Schéma du procédé du four à grille	116
Figure 5.5 : Aperçu des flux dans une installation de pelletisation.....	119
Figure 6.1 : Photographie d'une batterie de fours à coke qui montre les chambres, la tour à charbon et le collecteur principal du gaz de cokerie	138
Figure 6.2 : Schéma opérationnel typique d'une cokerie, qui met en évidence les sources d'émissions – [UK Coke, 1995]	139
Figure 6.3 : Schéma d'une batterie de fours à coke avec les principales sources d'émissions	141
Figure 6.4 : Schéma de l'enfournement du charbon dans la chambre d'un four à coke à l'aide d'une enfourneuse, avec les points de rejet des émissions (indiqués par des flèches)	142
Figure 6.5 : Schéma du système de chauffage d'un four à coke, avec les points d'émission (indiqués par des flèches).....	143
Figure 6.6 : Schéma d'une chambre de four à coke, avec les points d'émission possibles au cours de la cokéfaction (indiqués par des flèches)	144
Figure 6.7 : Défournement du coke carbonisé depuis le four dans un chariot d'extinction. Les points d'émissions sont indiqués par des flèches.	145
Figure 6.8 : Schéma classique d'une installation de traitement du gaz de cokerie, avec récupération des sous-produits	148
[UK Coke, 1995]	148
Figure 6.9 : Schéma d'un exemple de flux d'eau dans une cokerie – [InfoMil 1997]	151
Figure 6.10 : Aperçu des flux d'une cokerie	154
Figure 6.11 : Schéma d'une installation d'extinction du coke à sec – [Schönmuth, 1994].....	176
Figure 6.12 : Colonne montante d'une chambre de four à coke.....	187
Figure 6.13 : Exemple d'un système de dépoussiérage pour la poussière de défournement.....	191
Figure 6.14 : Schéma d'une tour d'extinction équipée de chicanes de réduction des émissions	194
Figure 6.15 : Schéma opérationnel d'une installation de désulfuration du gaz de cokerie (procédé ASK) construite en 1997	199

Figure 6.16 : Schémas de quatre installations différentes de traitement des eaux usées émises par les fours à coke, avec nitrification-dénitrification – [Löhr, 1996]	209
Figure 7.1: Vue d'ensemble de deux hauts fourneaux comprenant chacun trois cowpers et de la cheminée d'acheminement des gaz résiduaux provenant des cowpers	219
Figure 7.2 : Schéma simplifié de haut fourneau - [UBA Rentz, 1996]	220
Figure 7.3: Coupe transversale de cowpers avec chambre de combustion interne et externe [EC Sinter/BF, 1995]	223
Figure 7.4 : Granulation de laitier de haut fourneau selon le processus OCP [Poth, 1985]	227
Figure 7.5 : Granulation de laitier de haut fourneau selon le processus INBA [Radoux, 1982]	227
Figure 7.6 : Aperçu des flux d'un haut fourneau.....	230
Figure 7.7 : Fonctionnement général d'un haut fourneau avec indication des opérations ainsi que des flux d'entrée et de sortie	231
Figure 7.8 : Devenir des poussières et boues issues du traitement des gaz de haut fourneau dans l'UE	240
[Etude CE, 1996]	240
Figure 7.9 : Devenir du laitier de haut fourneau dans l'UE – [Etude CE, 1996]	241
Figure 7.10 : Représentation schématique de la gestion des eaux dans un haut fourneau	242
Figure 7.11 : Production de poussières avec et sans inertage à l'azote pendant l'enfournement de fonte liquide (au niveau de la poche tonneau) en fonction du débit de fonte brute – [de Haas, 1997]	258
Figure 7.12 : Enfournement de fonte liquide dans la poche tonneau avec la suppression de poussière par gaz inerte – [Haas, 1997]	259
Figure 7.13 : L'installation de Stahlwerke Bremen avec une production de 3 Mt de fonte brute par an a nécessité un investissement de 6,8 millions ECU ₁₉₉₆ comprenant la suppression des fumées et le dépoussiérage du trou de coulée et un filtre à manche.	260
Figure 7.14 : Exemple de processus pour le traitement au cyanure du circuit d'eau de lavage dans les hauts fourneaux – [Theobald, 1997]	263
Tableau 7.14 : Exemple d'eaux usées rejetées par le circuit d'eau de lavage de haut fourneau après traitement – [InfoMil, 1997]	264
Figure 7.15 : Granulation du laitier de haut fourneau avec condensation des fumées – [Poth, 1985]	265
Figure 8.1 : Convertisseur à oxygène pendant le chargement de la fonte	274
Figure 8.2 : Etapes successives de la sidérurgie à l'oxygène avec indication des différentes sources d'émission	275
Figure 8.3 : Réactions chimiques ayant lieu pendant l'oxydation.....	278
Figure 8.4 : Convertisseur à oxygène à soufflage par le haut – [Ullmann's, 1994]	279

Figure 8.5 : Coupe d'un convertisseur à oxygène à soufflage par le bas (OBM) – [Ullmann's, 1994]	280
Figure 8.6 : Technique de soufflage combinée avec lance à soufflage au dessus du bain ou tuyère latérale [Ullmann's, 1994]	281
Figure 8.7 : Aperçu des traitements métallurgiques secondaires	284
Figure 8.8 : Schéma d'une installation de coulée continue avec un four maintenu à température et un laminoir sans charge	285
Figure 8.9 : Aperçu des flux pour la sidérurgie à l'oxygène	289
Figure 8.10 : Fonctionnement général de la sidérurgie à l'oxygène avec indication des différentes opérations des flux d'entrée et de sortie	290
Figure 8.11: Récupération des gaz de convertisseur à oxygène avec une suppression de la combustion	297
Figure 8.12 : Devenir des poussières et boues issues de la désulfuration de la fonte brute dans l'UE – [Etude CE, 1996]	300
Figure 8.13 : Devenir des laitiers de convertisseur à oxygène dans l'UE [Etude CE, 1996]	301
Figure 8.14 : Devenir des poussières issues du traitement par voie sèche des gaz de convertisseur à oxygène [Etude CE, 1996]	302
Figure 8.15 : Devenir des boues issues du traitement (par voie humide) des gaz de convertisseur à oxygène dans l'UE – [Etude CE, 1996]	303
Figure 8.16 : Dépoussiérage dans un atelier de désulfuration de la fonte – [EUROFER BOF, 1997]	314
Figure 8.17 : Niveau réalisable pour le captage des poussières d'effluents gazeux secondaires dans les aciéries à l'oxygène – [EUROFER BOF, 1997]	317
Figure 8.18 : Captage des émissions secondaires pendant l'enfournement de la fonte dans le convertisseur à oxygène – [EUROFER BOF, 1997] ; le même système est employé pour l'enfournement des ferrailles.	318
Figure 8.19 : Captage de la poussière de transvasement (de la poche tonneau vers la poche de chargement) de la fonte [EUROFER BOF, 1997]	320
Figure 8.20 : Captage de la poussière depuis un poste de transvasement de la fonte [EUROFER BOF, 1997]	321
Figure 8.21 : Transvasement de la fonte depuis la poche tonneau vers la poche de chargement avec ou sans suppression des fumées/poussières au gaz inerte (CO ₂) [UNEP, 1997]	323
Figure 8.22 : Captage des poussières dans un poste de décrassage – [EUROFER BOF, 1997]	324
Figure 8.23 : Apport d'énergie spécifique pour les opérations de dépoussiérage dans les aciéries intégrées [Phillip, 1987]	326
Figure 8.24 : Équipements de briquetage de la poussière d'aciéries à oxygène – [EUROFER BOF, 1997]	328

Figure 8.25 : Aperçu des mesures permettant d’optimiser le recyclage des poussières de convertisseur à oxygène [Heiss, 1997] 330

Figure 10.1 : Techniques de production du fer passées, actuelles et alternatives dans le monde – source [Freuhan, 1993] 392

Liste des tableaux

Tableau 1A : Batteries de fours à coke.....	6
Tableau 1B : Installations d'agglomération (chaîne d'agglomération)	6
Tableau 1C : Hauts fourneaux.....	6
Tableau 1D : Fours à oxygène (convertisseurs à oxygène).....	7
Tableau 1E : Fours à arc électrique en courant alternatif (les fours à arc électrique en courant continu, seulement au nombre de quatre, ne sont pas inclus)	7
Tableau 1F : Coulée continue pour les billettes ou les blooms	7
Tableau 1G : Coulée continue pour les brames.....	9
Tableau 1.1 : Nombre et caractéristiques des installations de production de fonte brute et d'acier brut (batteries de fours à coke, installations d'agglomération, hauts fourneaux, convertisseurs à oxygène, fours à arc électrique et coulée continue) dans l'Europe des douze en 1993 – [Eurostat, 1993] ;	9
Tableau 1.2 : Contribution des aciéries intégrées (installations d'agglomération, cokeries, hauts fourneaux, aciéries à l'oxygène) et des aciéries à arc électrique aux émissions globales de SO ₂ , de NO _x , de métaux lourds et de PCDD/F dans l'Europe des quinze.....	15
Tableau 1.3 : Quantité spécifique moyenne et pourcentage moyen de résidus, de déchets et de sous-produits solides, issus d'aciéries intégrées et d'aciéries à arc électrique, mis en décharge.....	17
Tableau 4.1 : Consommations et productions fondées sur cinq installations d'agglomération de quatre États membres de l'UE différents (Autriche, Belgique, Allemagne et Pays-Bas)	41
Tableau 4.2 : Facteurs d'émissions atmosphériques (après réduction) pour chacune des opérations d'agglomération d'une installation d'agglomération *1	43
Tableau 4.3 : Émissions de PCDD/F provenant de cinq installations d'agglomération après optimisation du processus (afin de réduire au minimum les émissions de PCDD/F)	63
Tableau 4.4 : Comparaison des caractéristiques et des valeurs d'émission pour un procédé d'agglomération conventionnel et un procédé EOS (optimisation des émissions d'agglomération) sur la chaîne d'agglomération de l'installation de Hoogovens IJmuidens avec une zone d'aspiration de 132 m ² et une production de 4 700 t d'aggloméré à forte basicité par jour – [Panne, 1997]	74
Tableau 4.5 : Mesure des réductions d'émission (en masse) par le biais du procédé EOS (optimisation des émissions d'agglomération) – [Panne, 1997].....	74
Tableau 4.6 : Caractéristiques des flux de gaz résiduels, selon le principe de recirculation des gaz résiduels par section dans l'installation d'agglomération n °3 de Tobata, Yawata Works de la NSC – d'après [Sakuragi, 1994]	78
Tableau 4.7 : Comparaison de la composition finale des gaz résiduels avant et après l'application du principe de recirculation des gaz résiduels par section. Installation d'agglomération n °3 de Tobata, Yawata Works de la NSC – d'après [Sakuragi, 1994]	79
Tableau 4.8 : Données d'exploitation et considérations économiques pour les séparateurs électrostatiques MEEP et ESCS mis en œuvre dans les installations d'agglomération pour le traitement des gaz résiduels issus des installations d'agglomération – [InfoMil, 1997].....	83

Tableau 4.9 : Données d'exploitation et considérations économiques pour les filtres en tissu mis en œuvre dans les installations d'agglomération – d'après [InfoMil, 1997 ; Weiss, 1996]	89
Tableau 4.10 : Concentrations et facteurs d'émission atteints par le système AIRFINE dans l'installation de Voest-Alpine Stahl, Linz, Autriche	94
Tableau 4.11 : Les concentrations et facteurs d'émission des eaux usées traitées par le biais de l'épuration des gaz résiduels et de l'extraction des poussières filtrées par l'électrofiltre dans l'installation de Voest-Alpine Stahl, Linz, Autriche (valeurs moyennes).....	95
Tableau 4.12 : Unités de désulfuration par voie humide dans les installations d'agglomération – [InfoMil, 1997].....	98
Tableau 4.13 : Données d'exploitation et considérations économiques de plusieurs unités de désulfuration par voie humide dans des installations d'agglomération – [InfoMil, 1997].....	100
Tableau 5.1 : Données d'entrée et de sortie provenant des cinq installations de pelletisation dans l'UE à 15	120
Tableau 5.2 : Performances de l'absorbeur de particules en suspension dans le gaz (GSA) de l'installation de pelletisation KK3 de LKAB, Kiruna (Suède) en 1995 – [InfoMil, 1997]	128
Tableau 6.1 : Composition du gaz de cokerie brut – d'après [InfoMil, 1997]	147
Tableau 6.2 : Données d'entrée et de sortie provenant de onze cokeries situées dans 4 États membres de l'UE	156
Tableau 6.3 : Facteurs d'émissions dans l'air des cokeries ^{*1}	159
Tableau 6.4 : Facteurs d'influence des eaux usées de quatre cokeries en Belgique, Allemagne, France et aux Pays-Bas – [Löhr, 1996]	161
Tableau 6.5 : Composition des eaux usées rejetées lors de deux processus de désulfuration par oxydation humide [EC Coke, 1996].....	163
Tableau 6.6 : Équilibre énergétique d'une cokerie (hors traitement du gaz de cokerie) – basé sur [UN-ECE, 1990] ; la production de coke supposée est de 780 kg de coke/t de charbon.....	165
Tableau 6.7 : Caractéristiques de différents types de fours à coke – [Eisenhut, 1988]	180
Tableau 6.8 : Caractéristiques de dimensionnement d'un four à coke sans récupération d'après [Knoerzer, 1991]	181
Tableau 6.9 : Émissions d'un processus de cokéfaction sans récupération et sans réduction des émissions – d'après [Knoerzer, 1991] ; calculé à partir de g/t de coke, sur la base de la supposition suivante : 1 tonne de charbon permet de produire 0,78 t de coke (voir le paragraphe 6.1.2.3).....	183
Tableau 6.10 : Émissions des opérations d'enfournement et de défournement du processus de cokéfaction sans récupération - d'après [Knoerzer, 1991] ; calculé à partir de g/t de coke, sur la base de la supposition suivante : 1 tonne de charbon permet de produire 0,78 t de coke (voir 6.1.2.3)	183
Tableau 6.11 : Procédés de désulfuration du gaz de cokerie et leurs caractéristiques – d'après [UN-ECE, 1990 ; EC Coke, 1996]	199
Tableau 6.12 : Tableau des installations de référence pour les procédés de désulfuration du gaz de cokerie – [InfoMil, 1997]	201

Tableau 6.13 : Dépenses en capital et frais d'exploitation typiques pour la désulfuration de 45 000 Nm ³ /h de gaz de cokerie contenant 8 g/Nm ³ de H ₂ S – [Rothery, 1987 ; InfoMil, 1997].....	202
Tableau 6.14 : Concentrations des effluents et émissions spécifiques des cokeries européennes utilisant un système de traitement aérobique des eaux usées avec boues activées (avec un ratio N/M élevé ou peu élevé) – [EC Coke, 1996]	208
Tableau 6.15 : Concentrations dans les influents et effluents et certaines caractéristiques des procédés d'épuration des eaux usées avec pré-DN/N – [InfoMil, 1997 ; Löhr, 1996 ; Löhr, 1997].....	210
Tableau 7.1 : Données d'entrée/sortie de quatre hauts fourneaux existants situés dans quatre Etats membres de l'UE.....	232
Tableau 7.2 : Facteurs d'émission dans l'atmosphère des hauts fourneaux	233
Tableau 7.3 : Composition des gaz de haut fourneau bruts avant traitement – source [InfoMil, 1997]	236
Tableau 7.4 : Composition des gaz de haut fourneau après le traitement en deux étapes – source [InfoMil, 1997].....	237
Tableau 7.5 : Composition typique (pourcentage en masse) des grosses poussières sèches provenant du traitement des gaz de haut fourneau – source [IISI, 1987; Mertins, 1986; données issues du document European blast furnaces de 1997]	239
Tableau 7.6 : Composition typique (pourcentage en masse) des boues provenant du traitement des gaz de haut fourneau – source [IISI, 1987; Mertins, 1986; données issues du document European blast furnaces de 1997]	240
Tableau 7.7 : Composition chimique (pourcentage en masse) des laitier de haut fourneau pour une basicité inférieure ou supérieure à 1,0 – [Geiseler, 1992].....	241
Tableau 7.8 : L'exemple de Stahlwerke Bremen GmbH, Brème (Allemagne) pour la composition des eaux usées issues de la granulation du laitier en 1996/1997 – [Weigel, 1998]	243
Tableau 7.9 : Exemple d'entrée/sortie d'énergie d'un haut fourneau à pression au gueulard élevée fonctionnant par injection de charbon et récupération de l'énergie des gaz de haut fourneau, en 1986	243
[InfoMil, 1997].....	243
Tableau 7.10 : Comparaison entre la consommation de coke résiduel et la consommation totale de charbon à différents niveaux d'injection de charbon pulvérisé.....	246
Tableau 7.11 : Émissions issues de revêtements de la rigole de coulée – [InfoMil, 1997].....	252
Tableau 7.12 : Exemple de la teneur en zinc de la boue de gaz de haut fourneau après hydrocyclonage – tiré de [Pazdej, 1995 ; InfoMil, 1997]	261
Tableau 7.13 : Données opérationnelles issues de 7 installations allemandes de traitement par contact des boues des eaux de lavage du gaz de haut fourneau – [Theobald, 1988]	262
Tableau 8.1 : Types, nombres et capacités estimées des convertisseurs à oxygènes en opération dans l'UE.....	281

Tableau 8.2 : Données d'entrée/sortie de quatre aciéries à l'oxygène existantes situées dans quatre Etats membres de l'UE.....	291
Tableau 8.3 : Facteurs d'émissions pour les rejets de poussières dans l'atmosphère (après réduction) pour les aciéries à l'oxygène *1	292
Tableau 8.4 : Composition et caractéristiques des gaz de convertisseur à oxygène.....	296
Tableau 8.5 : Valeur des rejets dans l'atmosphère d'un convertisseur à oxygène à combustion supprimée ; en l'absence d'autres indications, les valeurs sont considérées après réduction – source [InfoMil, 1997].....	298
Tableau 8.6 : Types et quantités de résidus et sous-produits solides résultant de la sidérurgie à l'oxygène d'après [EUROFER BOF, 1997; Rentz, 1996].....	299
Tableau 8.7 : Composition chimique (pourcentage en masse) du laitier issu de la désulfuration de la fonte brute [Geiseler, 1991].....	300
Tableau 8.8 : Composition chimique (pourcentage en masse) du laitier de convertisseur à oxygène [Geiseler, 1991].....	301
Tableau 8.9 : Composition des boues grossières et fines (pourcentage en masse) – [Harp, 1990; IISI, 1987 ; données issues d'une aciérie intégrée de l'UE].....	302
Tableau 8.10 : Avantages et inconvénients de la suppression de la combustion ; une attention particulière est portée à l'utilisation des gaz de convertisseur à oxygène [EUROFER convertisseur à oxygène, 1997].....	307
Tableau 8.11 : Génération de vapeur au moyen de chaudières de récupération de chaleur dans les aciéries à l'oxygène de Thyssen Stahl AG source [Joksch, 1995].....	308
Tableau 8.12 : Données issues de systèmes de dépoussiérage des émissions secondaires issues du chargement et de la coulée des convertisseurs à oxygène - [EUROFER BOF, 1997]	319
Tableau 8.13 : Exemples de rejets dans l'eau par les systèmes de dépoussiérage par voie humide des aciéries à oxygène	331
Tableau 8.14 : Aperçu des rejets dans l'eau des systèmes de refroidissement direct pour la coulée continue [InfoMil, 1997].....	333
Tableau 10.1 : Caractéristiques des processus de réduction directe – source [Nagai, 1995]	394
Tableau 10.2 : Performances de l'installation COREX d'IsacorPretoria Works en Afrique Du Sud – source [Kreulitsch, 1994 ; Lemperle, 1993].....	398
Tableau 10.3 : Caractéristiques des procédés de réduction par fusion en cours de développement – source [Freuhan, 1994 ; Nagai, 1995]	400
Tableau 10.4 : Comparaison du haut fourneau, de la réduction directe et de la réduction par fusion pour la sidérurgie.....	407

PORTÉE DU TRAVAIL

Le présent BREF couvre les opérations liés à la production sidérurgique tant dans les aciéries intégrées qu'électriques.

Les principales opérations décrites sont les suivantes :

- chargement, déchargement et traitement des matières premières en vrac,
- dosage et mélange des matières premières,
- production de coke,
- agglomération et pelletisation du minerai de fer,
- production de fonte liquide dans les hauts fourneaux, y compris le traitement du laitier,
- production et raffinage de l'acier en utilisant des convertisseurs à oxygène, y compris la désulfuration en poche en amont, la métallurgie en poche en aval et le traitement du laitier,
- production d'acier dans les fours à arc électrique, y compris la métallurgie en poche en aval et le traitement du laitier,
- coulée continue.

Les fours de réchauffage ou de traitement thermique, les centrales électriques, les installations de production d'oxygène, ainsi que toutes les autres transformations sidérurgiques en aval, tels le laminage, le décapage, l'enrobage, etc., ne sont pas inclus dans le présent document et seront traités dans d'autres BREF.

Par ailleurs, il existe certains aspects environnementaux qui ne sont liés spécifiquement ni à la production sidérurgique primaire, ni à celle des aciéries électriques, tels que :

- les émissions de particules issues du stockage et de la manutention des matières premières, additifs et produits auxiliaires, ainsi que des produits intermédiaires,
- la sécurité du travail et les risques accidentels,
- les systèmes de refroidissement, et
- le contrôle des émissions.

Le présent document aborde brièvement ces aspects, mais ils seront abordés plus longuement dans d'autres documents de référence.

1 INFORMATIONS GENERALES

1.1 Production sidérurgique globale en Europe et dans le monde

Le fer et l'acier ont joué un rôle important dans le développement de la civilisation humaine au cours de plusieurs millénaires et ont trouvé des applications dans l'agriculture, le bâtiment, la production et la distribution d'énergie, la fabrication de machines et de matériel d'équipement, dans les ménages, ainsi qu'en médecine.

Avec le charbon et le coton, le fer et l'acier sont les principaux matériaux sur lesquels a reposé la révolution industrielle. Les développements techniques réalisés depuis le début du XVIII^e siècle ont permis d'augmenter le volume de la production de façon fulgurante grâce par exemple au remplacement du charbon de bois relativement rare par de la houille, du lignite et du coke, et au développement du puddlage pour la transformation de la fonte brute en acier. La production sidérurgique a connu une croissance exponentielle au cours de la seconde moitié du XX^e siècle, atteignant en 1995 un volume mondial total de 757 millions de tonnes (Figure 1.1).

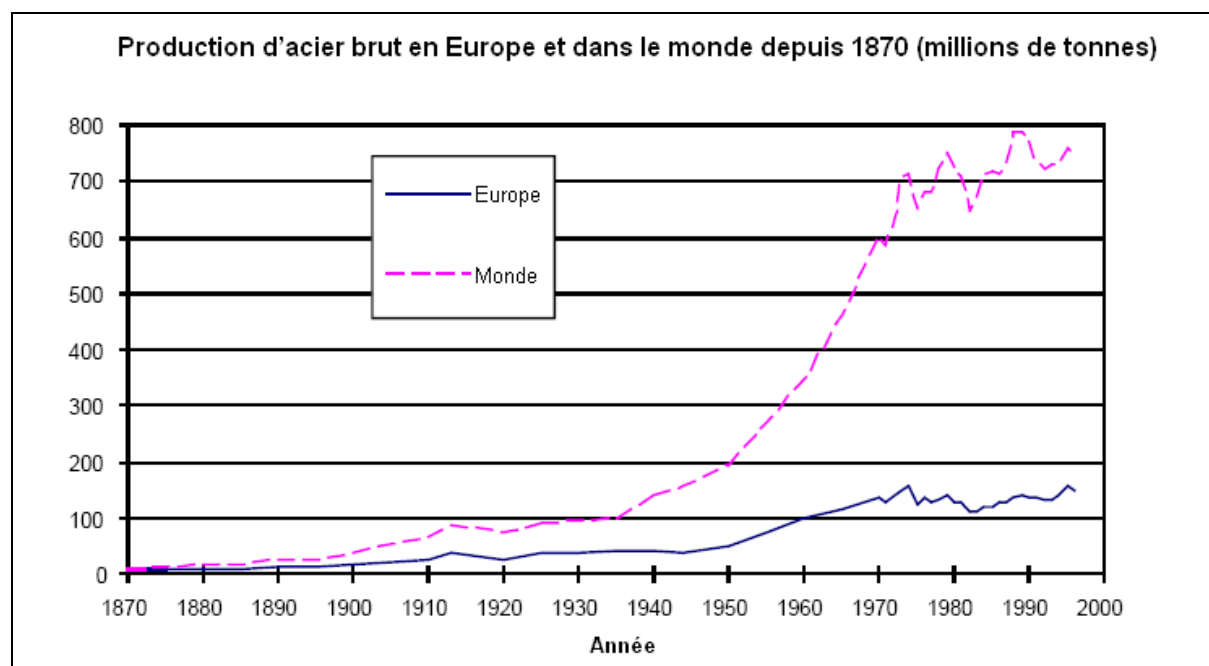


Figure 1.1 : Production d'acier brut en Europe et dans le monde depuis 1870 – [Stat. Stahl, 1997]

La figure 1.1 montre également que la part de l'Europe dans la production mondiale d'acier a fortement diminué, pour retomber à un niveau de 21 % à la fin de la période. Depuis la crise pétrolière de 1974-75, la production mondiale a connu en quelque sorte une période de stagnation qui a touché plus particulièrement l'Europe.

La production européenne d'acier brut a connu une croissance annuelle de 1,2 % entre 1985 et 1994 en termes de volume (cf. figure 1.2). Cette croissance s'est accélérée pendant trois ans de 1987 à 1989 (3,7 % par an). La production de l'Europe des douze a ensuite diminué pour passer de 140 millions de tonnes à 132 millions de tonnes entre 1992 et 1993, avant de remonter à 139 millions de tonnes en

1994, puis à 143 millions de tonnes en 1995. L'entrée de trois nouveaux États membres (l'Autriche, la Finlande et la Suède) a permis de ramener la production européenne d'acier brut à 156 millions de tonnes en 1995, un volume important comparé à la production de 112 millions de tonnes des États de l'Est (la part de la Russie atteignant 51 millions de tonnes) et à la production du Japon, des États-Unis et de la Chine (respectivement 102, 94 et 93 millions de tonnes) [EC Panorama, 1997]. En 1999, la production européenne d'acier brut a atteint 155,3 millions de tonnes, soit 19,7 % de la production mondiale, selon Eurofer et l'IISI.

La figure 1.2 montre également que la production d'acier à oxygène est restée relativement stable, tandis que la production d'acier au four à arc électrique a connu une croissance progressive. La part de ce type de production a atteint 34,4 % de la production totale en 1995. Néanmoins, la production dans les hauts fourneaux et dans les convertisseurs à oxygène est destinée à rester le principal procédé sidérurgique, au moins pour les vingt prochaines années [Luengen, 1995].

La consommation apparente d'acier par habitant dans l'Union européenne en 1995 était de 367 kg/habitant (avec des variations allant de 152 kg/habitant en Irlande à 533 kg/habitant en Italie) [Stat.Stahl, 1997].

Par ailleurs, la figure 1.2 montre que le nombre de fours à arc électrique et de convertisseurs à oxygène a diminué après 1990, tandis que les capacités des installations nouvelles et déjà existantes ont augmenté. Le chiffre plus élevé relevé en 1995 s'explique par l'entrée des trois nouveaux États membres.

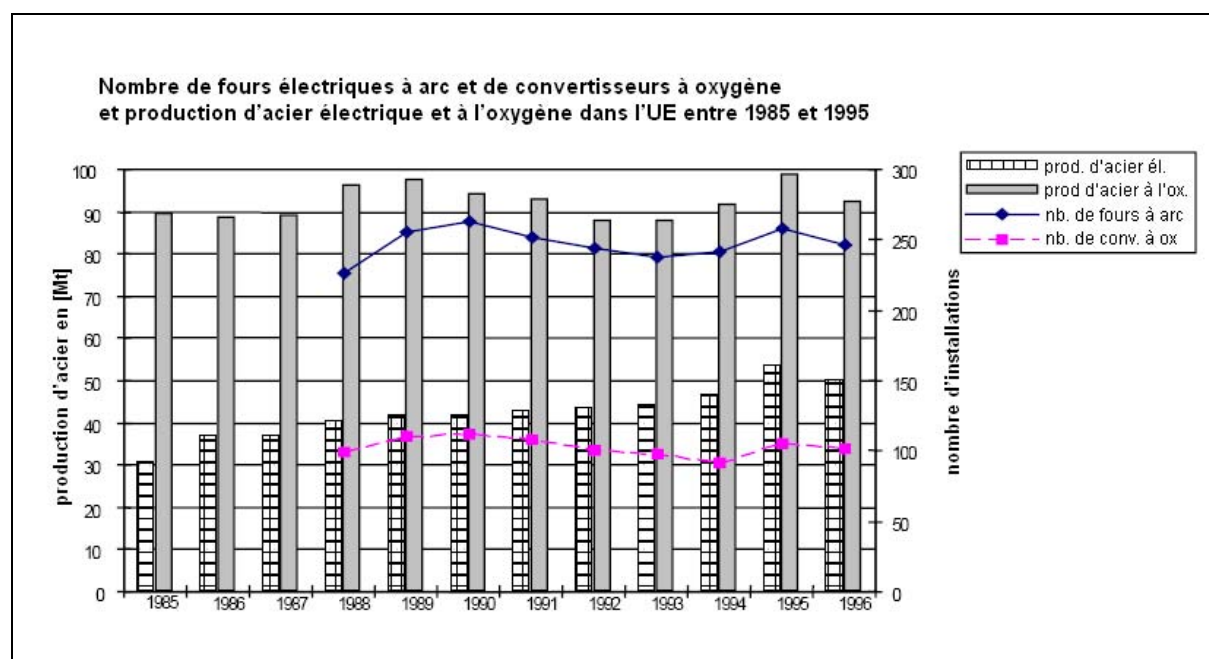


Figure 1.2 : Production d'acier des fours à arc électrique et des convertisseurs à oxygène dans l'UE entre 1985 et 1995 - [Stat. Stahl, 1997]

1.2 Répartition géographique de la production sidérurgique dans l'UE

La figure 1.3, qui présente la localisation des aciéries intégrées dans l'Europe des quinze, montre clairement que les aciéries sont concentrées le long du bassin houiller d'Europe centrale. Néanmoins, il existe des aciéries intégrées dans presque tous les États membres. Le nombre de fours à arc électrique est bien plus élevé. Selon [Stat. Stahl, 1997], l'Europe des quinze compte 246 fours à arc électrique. Leur localisation n'est pas précisée dans la figure 1.3.

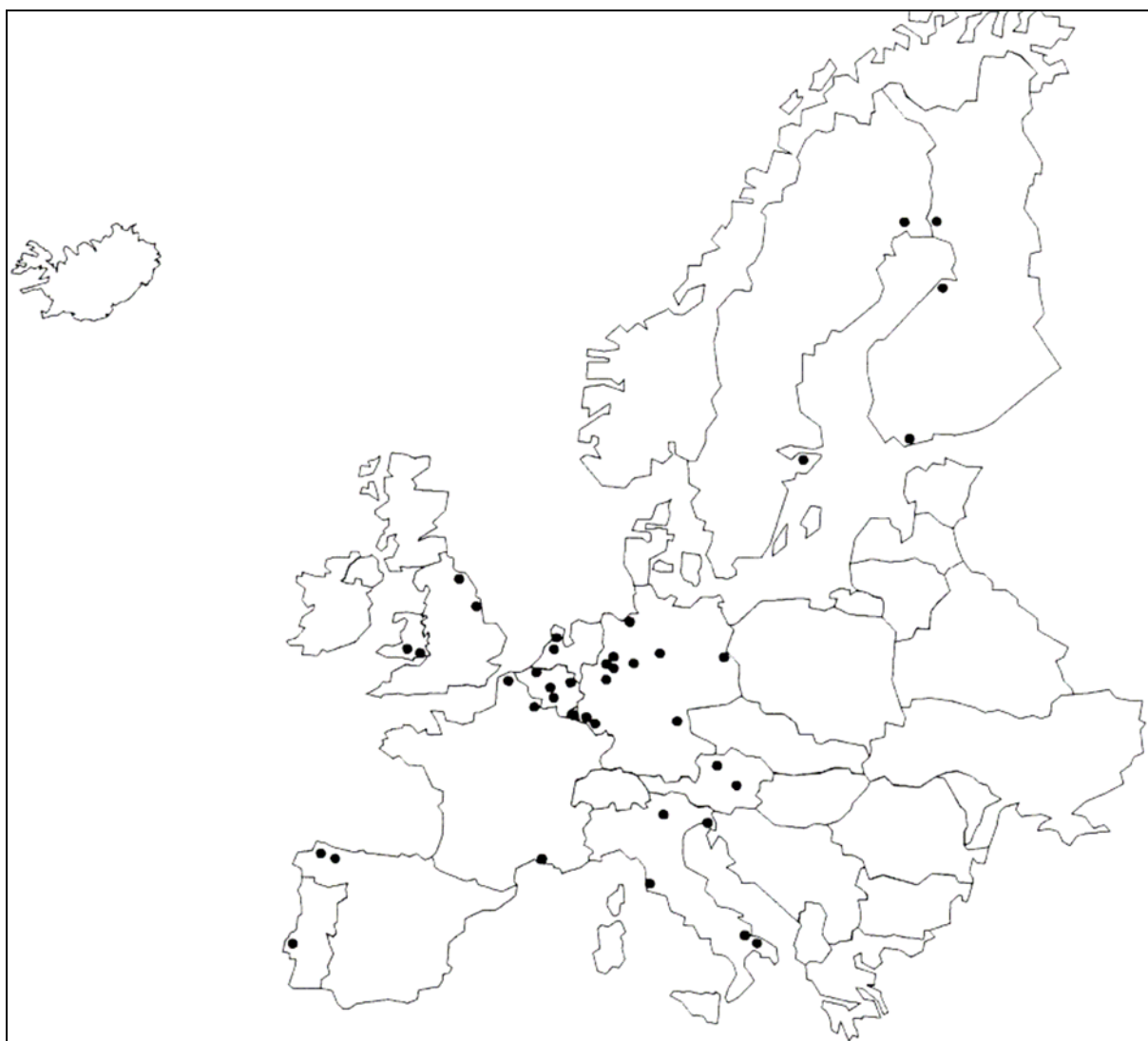


Figure 1.3 : Répartition géographique des aciéries intégrées dans l'Union européenne

La figure 1.4 montre clairement que l'Allemagne dispose de la plus importante industrie sidérurgique d'Europe avec une production de 40 millions de tonnes d'acier brut en 1996, soit 27 % de la production de l'Europe des quinze. Elle est suivie par l'Italie, qui compte pour 16 % dans la

production de l'Europe des quinze. La production des six principaux producteurs européens (Allemagne, Italie, France, Royaume-Uni, Espagne et Belgique) représentait 83 % de la production européenne totale en 1996.

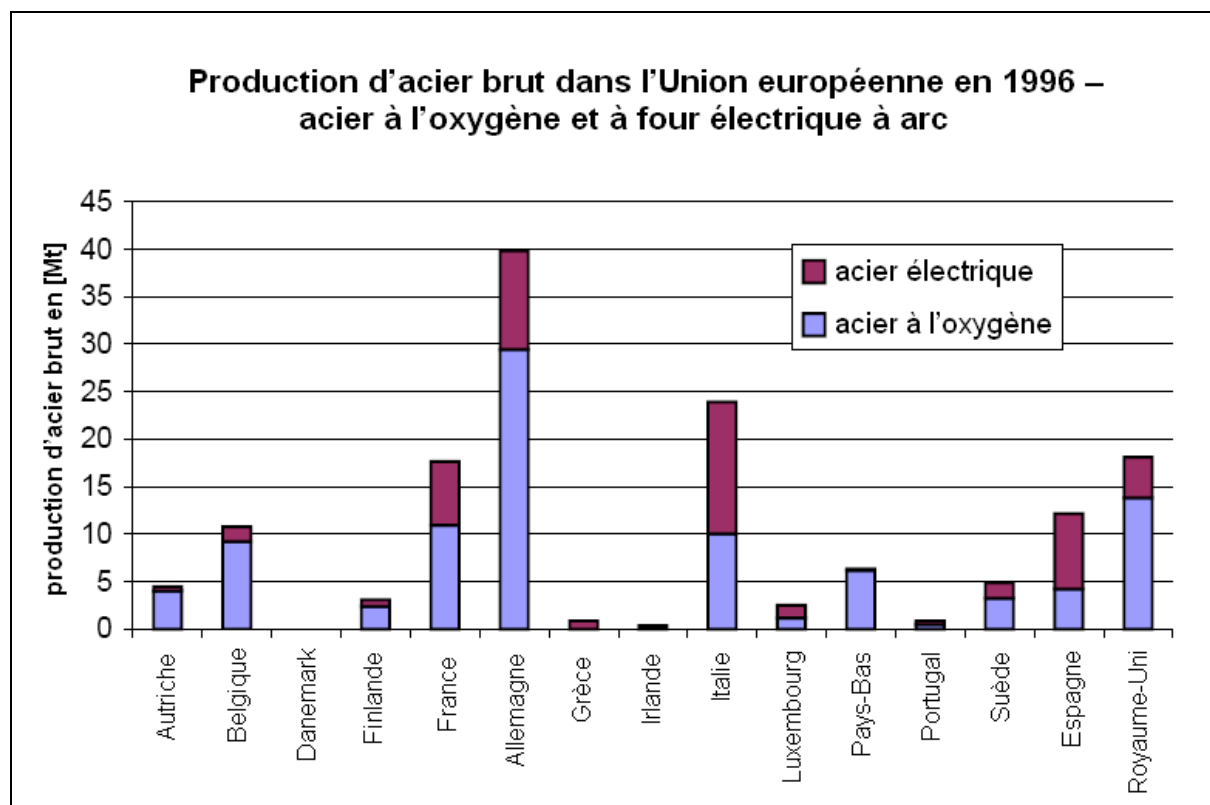


Figure 1.4 : Production d'acier en convertisseur à oxygène et en four à arc électrique dans les États membres de l'UE en 1996 - [Stat. Stahl, 1997]

En 1996, le taux moyen d'utilisation des capacités de production dans l'UE était de 73,3 %, avec des variations allant de 22,2 % en Grèce à 93,2 % aux Pays-Bas [Stat. Stahl, 1997].

Le nombre d'installations destinées aux principales étapes de la production de fonte brute et d'acier (cokeries, installations d'agglomération, hauts fourneaux, convertisseurs à oxygène et fours à arc électrique) recensées dans l'Europe des quinze est indiqué dans la figure 1.5.

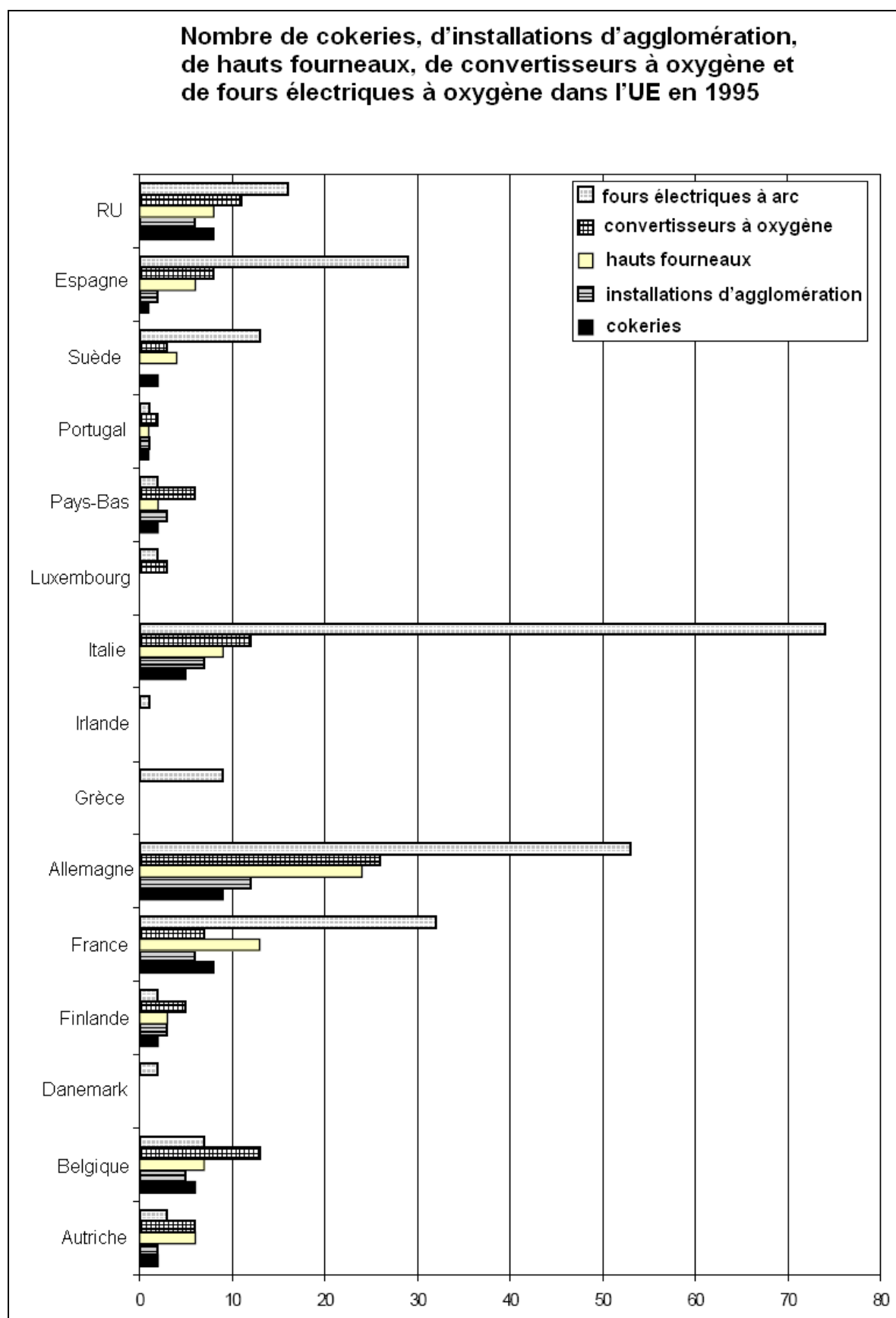


Figure 1.5 : Nombre d'installations de production de fonte brute et d'acier dans l'Europe des quinze – [Stat. Stahl, 1997 ; Stahl, 1996]

Une cokerie compte en général 2 à 4 batteries de fours à coke.

Le tableau 1.1 compile les données relatives à la répartition des différentes installations, y compris la coulée continue, dans l'Europe des douze selon leurs capacités et leurs caractéristiques (données disponibles uniquement pour l'Europe des douze).

Tableau 1A : Batteries de fours à coke

Nombre d'installations	Âge moyen [années]	Âge moyen de la dernière modernisation importante [années]	Nombre moyen de fours	Dimensions moyennes des fours			Production en 1993 [Mt]			
				Hauteur [mm]	Largeur [mm]	Longueur [mm]				
106	27	17	40	4 957	438	13 590	34,1			
Taille des batteries de fours à coke sur la base de leur capacité technique annuelle (CTA) [en kt/an] : nombre d'installations (Nb.) par catégorie de taille et capacité technique annuelle totale (CTAT) de chaque catégorie de taille [en Mt/an]										
CTA	<200	200-299	300-399	400-499	500-599	600-699	700-799	800-899	900-999	≥1000
Nb.	35	25	16	9	3	13	2	0	0	3
CTAT	5,43	6,03	5,31	3,84	1,59	8,22	1,43	-	-	4,17

Tableau 1B : Installations d'agglomération (chaîne d'agglomération)

Nombre d'installations	Âge moyen [années]	Âge moyen de la dernière modernisation importante [années]	Largeur moyenne de la bande [mm]	Surface moyenne de la totalité de la bande [m²]	Capacité technique annuelle moyenne [kt/an]			
47	23	16	3420	252	2521			
Répartition par taille des chaînes d'agglomération sur la base de la surface totale de leur bande [en m²] (Surface) : nombre d'installations (Nb.) par catégorie de taille et capacité technique annuelle totale (CTAT) de chaque catégorie de taille [en Mt/an]								
Surface	<100	100-199	200-299	300-399	400-499	500-599	≥600	
Nb.	5	19	7	4	8	2	2	
CTAT	2,8	31,9	17,3	13,1	37,9	10,6	4,9	

Tableau 1C : Hauts fourneaux

Nombre d'installations	Âge moyen [années]	Âge moyen de la dernière modernisation importante [années]	Volume utile moyen [m ³]	Diamètre moyen du foyer [m]	Capacité technique journalière moyenne [t/24 h]
81	28	7	1721	9,4	3931
Répartition par taille des hauts fourneaux sur la base du diamètre de leur foyer [en m] (DF) : nombre					

d'installations (Nb.) par catégorie de taille et capacité technique journalière totale (CTJT) de chaque catégorie de taille [en kt/24 h]										
DF	4,0-5,99	6,0-6,99	7,0-7,99	8,0-8,99	9,0-9,99	10,0-10,99	11,0-11,99	12,0-12,99	≥ 13	
Nb.	4	6	5	15	20	17	7	1	6	
CTJT	3,0	8,6	9,0	38,5	67,6	83,6	41,8	7,0	59,3	

Tableau 1D : Fours à oxygène (convertisseurs à oxygène)

Nombre d'installations			Âge moyen [années]			Âge moyen de la dernière modernisation importante [années]		Capacité moyenne par coulée [t/coulée]	
95			22			11		204	
Capacité de coulée (C/C) [en t/coulée] : nombre d'installations (Nb.) par catégorie (données relatives à la capacité technique annuelle totale (CTAT) non disponibles)									
C/C	50-99	100-149	150-199	200-249	250-299	300-349	350-399		
Nb.	17	12	17	18	13	13	5		

Tableau 1E : Fours à arc électrique en courant alternatif (les fours à arc électrique en courant continu, seulement au nombre de quatre, ne sont pas inclus)

Nombre d'installations	Âge moyen [années]		Âge moyen de la dernière modernisation importante [années]		Capacité moyenne par coulée [t/coulée]		Taux moyen de transformation [1 000 kVA]		Capacité technique annuelle moyenne [kt/an]	
203	21		9		73		44		335	
Répartition par taille des fours à arc électrique sur la base de leur capacité de coulée (C/C) [en t/coulée] : nombre d'installations (Nb.) par catégorie de taille et capacité technique annuelle totale (CTAT) de chaque catégorie de taille [en Mt/an]										
C/C	<20	20-39	40-59	60-79	80-99	100-119	120-139	140-159	160-179	≥180
Nb.	19	27	28	44	33	18	18	9	4	3
CTAT	0,3	2,6	5,3	15,6	15,1	9,3	9,6	7,2	1,8	1,4

Tableau 1F : Coulée continue pour les billettes ou les blooms

Nombre d'installations	Âge moyen [années]	Âge moyen de la dernière modernisation importante [années]	Nombre d'installations avec une halle de coulée à l'oxygène	Capacité technique annuelle moyenne [kt/an]
149	16	8	30	514
Taille des installations de coulée continue pour les billettes et les blooms sur la base de leur capacité technique annuelle (CTA) [en kt/an] : nombre d'installations (Nb.) par catégorie de taille et capacité technique annuelle totale (CTAT) de chaque catégorie de taille [en Mt/an]				

CTA	<200	200-399	400-599	600-799	800-999	1000-1199	≥1200	
Nb.	17	47	29	29	18	4	5	
CTAT	2,3	14,1	14,3	20,0	15,5	4,2	6,2	

Tableau 1G : Coulée continue pour les brames

Nombre d'installations	Âge moyen [années]		Âge moyen de la dernière modernisation importante [années]		Nombre d'installations avec une halle de coulée électrique		Capacité technique annuelle moyenne [kt/an]	
65	14		8		16		1399	
Taille des installations de coulée continue pour les brames sur la base de leur capacité technique annuelle (CTA) [en kt/an] :, nombre d'installations (Nb.) par catégorie de taille et capacité technique annuelle totale (CTAT) de chaque catégorie de taille [en Mt/an]								
CTA	<500	500-999	1000-1499	1500-1999	2000-2499	2500-2999	≥3000	
Nb.	10	11	14	14	10	4	2	
CTAT	3,5	7,1	17,8	23,0	21,9	11,0	6,6	

Tableau 1.1 : Nombre et caractéristiques des installations de production de fonte brute et d'acier brut (batteries de fours à coke, installations d'agglomération, hauts fourneaux, convertisseurs à oxygène, fours à arc électrique et coulée continue) dans l'Europe des douze en 1993 – [Eurostat, 1993] ;

Le nombre de fours à arc électrique ne correspond pas au nombre indiqué au point 1.2 car l'un renvoie à l'Europe des douze et l'autre à l'Europe des quinze.

Le développement de la coulée continue a eu un effet positif sur l'économie de l'industrie sidérurgique dans les années 1970 et 1980. En revanche, les années 1990 ont été marquées par l'introduction massive dans l'UE de technologies radicalement nouvelles. En effet, les méthodes classiques de production ont été améliorées à plusieurs niveaux (hauts fourneaux, aciéries), ce qui a permis d'obtenir un rendement bien plus efficace tout au long de la chaîne de production. D'importantes réductions en termes d'utilisation énergétique et de pollution ont ainsi été rendues possibles, tandis que la qualité des produits s'est améliorée.

Un certain nombre de fours à arc électrique en courant continu ont été construits et mis en service depuis 1993 (trois en Allemagne, deux en Belgique et un en France).

1.3 Investissements et emploi dans l'industrie sidérurgique de l'EU

Les dépenses d'investissement ont diminué entre 1991 et 1994, passant de 5,9 milliards d'ECU à 2,7 milliards d'ECU (Europe des douze), puis ont connu une nouvelle augmentation en 1996 pour atteindre 4,0 milliards d'ECU (Europe des quinze) [EC Panorama, 1997]. Parmi ces dépenses, environ 16 % ont été investis pour la production de la fonte (installations d'agglomération, cokeries et hauts fourneaux), 13 % pour la production de l'acier dans une aciérie électrique, 4 % pour la production de l'acier dans une aciérie à l'oxygène, 7 % pour la coulée continue, 31 % pour les laminoirs et le reste pour l'enrobage et autres [Eurofer 1, 1997].

Dans l'UE, le nombre d'emplois dans l'industrie sidérurgique a fortement diminué au cours des années 1990 (Figure 1.6), en raison des niveaux de production stagnants et de la rationalisation de l'industrie. L'introduction de nouvelles techniques et méthodes de travail a permis d'atteindre un regain de productivité de 64 % entre 1985 et 1994. En 1995, environ 330 000 personnes étaient employées dans l'industrie sidérurgique dans l'Europe des quinze [EC Panorama, 1997], auxquelles vient s'ajouter l'importante main-d'œuvre employée dans les industries qui en dépendent comme le bâtiment, la construction automobile, le génie mécanique, etc.

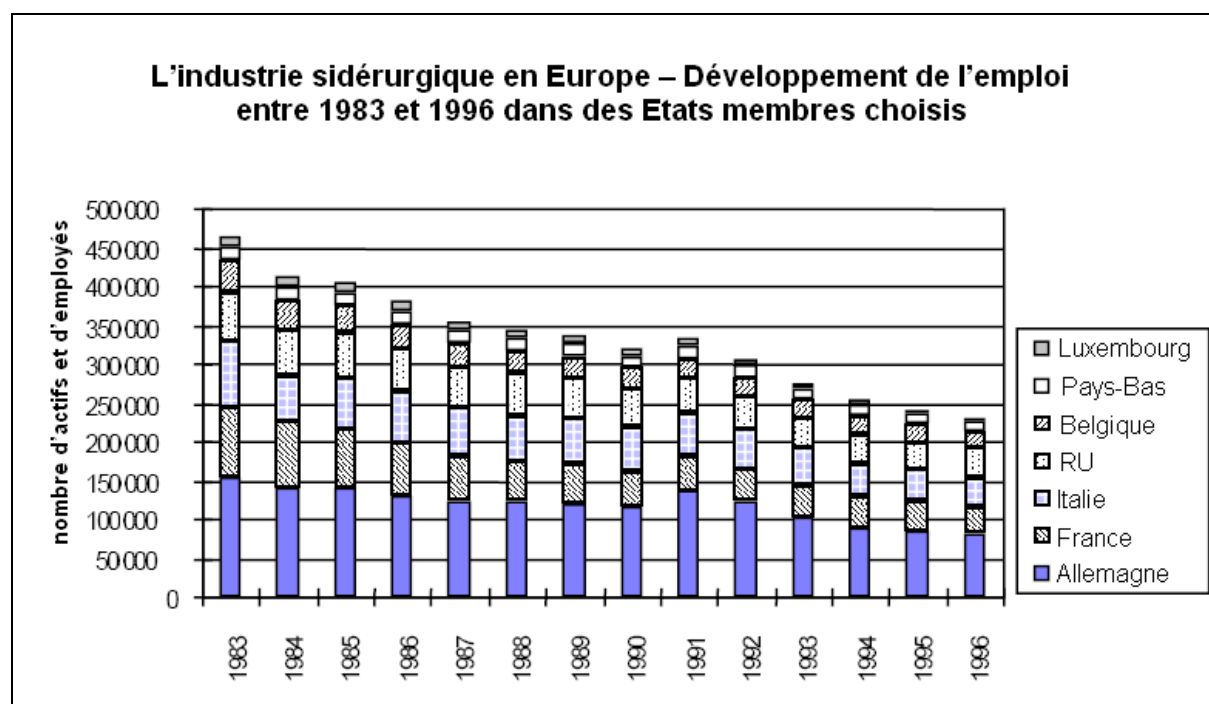


Figure 1.6 : Développement de l'emploi dans l'industrie sidérurgique de l'Europe des quinze entre 1983 et 1996 - [Stat. Stahl, 1997]

Afin d'unifier le marché européen du charbon, du fer et de l'acier et de promouvoir son développement, la Communauté européenne du charbon et de l'acier (CECA) a été fondée en 1951 [ECSC Treaty, 1951]. La signature de ce traité constitue une étape importante dans l'évolution de l'industrie sidérurgique européenne, qui s'est achevée en 2002.

1.4 Situation économique

L'industrie sidérurgique a été et continue d'être profondément marquée par la mondialisation de l'économie. Ainsi, malgré ou peut-être grâce à la stagnation du marché, l'industrie est en passe de subir d'intenses transformations structurelles, caractérisées par le développement de nouveaux concepts sidérurgiques (par ex. les mini-acières électriques, les nouveaux concepts pour les fours à arc électrique, les nouvelles techniques de coulée, ainsi que les techniques de réduction directe ou par fusion). Les conditions hautement concurrentielles du marché sont susceptibles d'accélérer ces transformations structurelles et de favoriser la consolidation dans l'industrie sidérurgique, comme en atteste le nombre croissant d'alliances, de co-entreprises et d'absorptions d'entreprises.

1.5 Impact environnemental de l'industrie sidérurgique

L'industrie sidérurgique est très gourmande en matières premières et en énergie. La figure 1.7 présente un schéma simplifié des consommations et des productions illustrant et dénombrant les principaux flux de matières premières associés à la quantité d'acier brut produit dans l'Europe des quinze en 1995. La figure illustre le mécanisme selon lequel plus de la moitié des matières premières est finalement transformée en gaz résiduels et en sous-produits ou résidus solides.

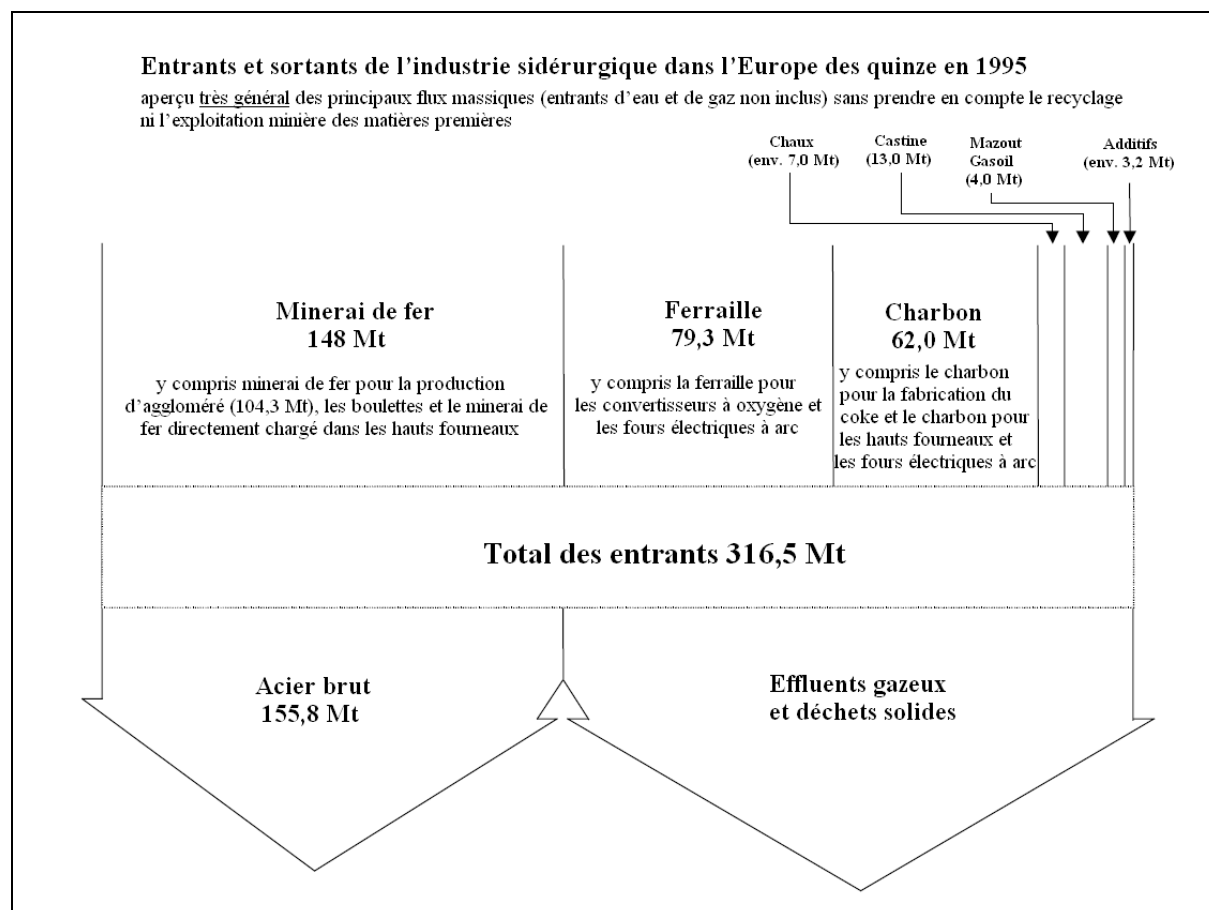


Figure 1.7 : Aperçu des consommations et des productions de l'industrie sidérurgique dans l'Europe des quinze en 1995 – d'après [Stat. Stahl, 1997]

L'aperçu donné dans la figure 1.7 est simplifié et montre uniquement les principaux flux sans prendre en compte le recyclage ou l'extraction des matières premières.

Les leviers d'action importants généralement admis pour répondre aux préoccupations environnementales sont le contrôle des émissions atmosphériques et la gestion des déchets solides.

La question de la pollution atmosphérique reste essentielle. Dans les aciéries intégrées, les installations d'agglomération sont les principales responsables des rejets de polluants dans l'atmosphère, suivies par les cokeries (Figure 1.8).

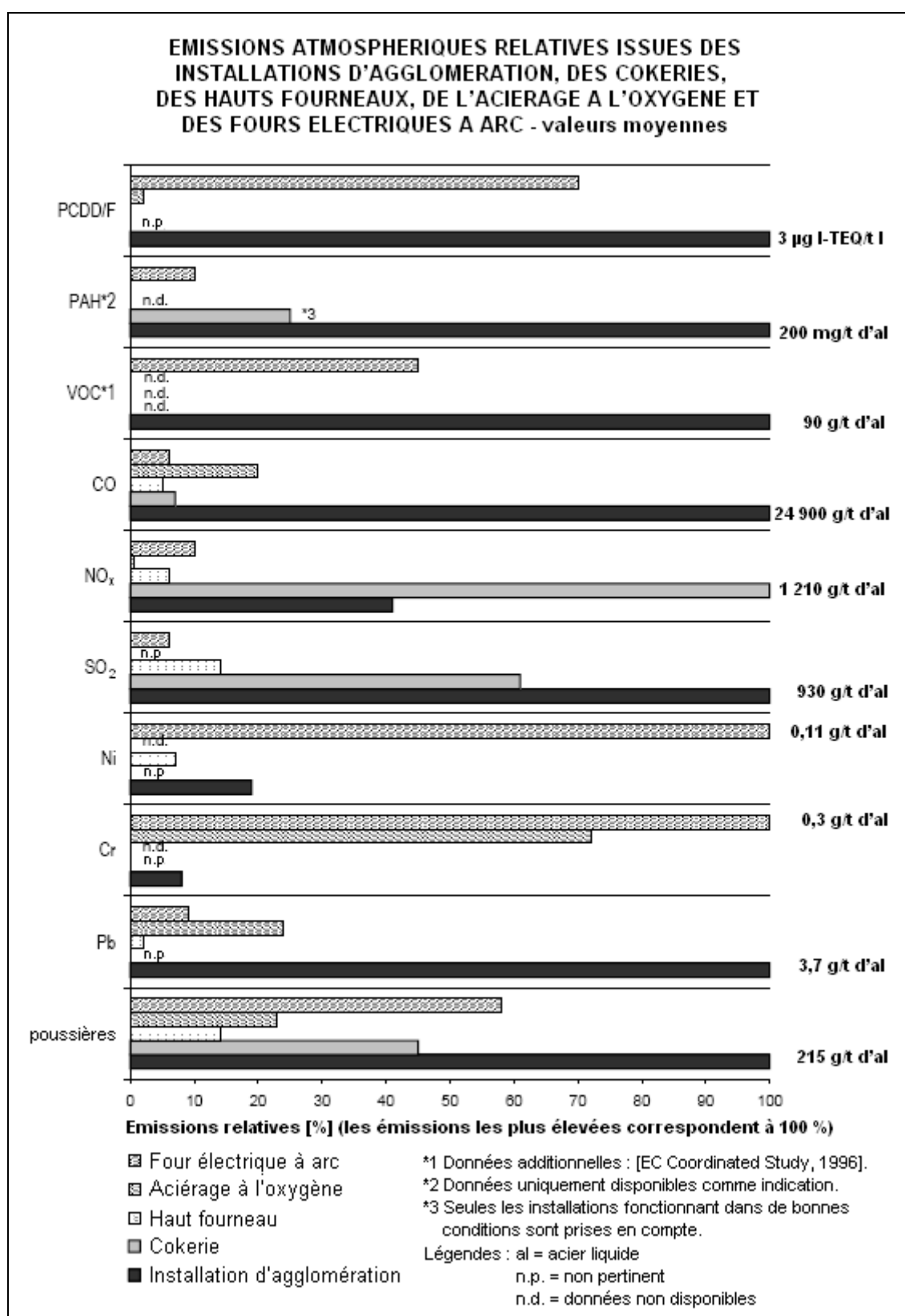


Figure 1.8 : Émissions atmosphériques relatives pour une sélection de polluants issus des installations d'agglomération, des cokeries, des hauts fourneaux, des aciéries à l'oxygène et des fours à arc électrique

Dans la figure 1.8, une valeur relative de 100 % est attribuée au type d'installation qui produit le plus d'émissions pour chaque polluant pris séparément (annotée avec la quantité spécifique absolue). Les émissions des autres catégories d'installations sont représentées en fonction des installations avec les taux d'émission les plus élevés.

Les hauts fourneaux, les convertisseurs à oxygène, les fours à coke ainsi que les fours à arc électrique ont un important pourcentage d'émission de poussières. Les rejets gazeux issus des fours des aciéries électriques peuvent présenter des taux de mercure et de polluants organiques considérables, comme indiqué en figure 1.8.

Les premières étapes pour le contrôle de la pollution atmosphérique ont consisté en une récupération et une élimination des poussières. Dans les années 1980 et 1990, l'élimination des poussières est devenue de plus en plus efficace (notamment le dépoussiérage secondaire), ce qui a corrélativement permis de réduire les émissions de métaux lourds, à l'exception de ceux présentant une pression de vapeur saturante élevée, comme le mercure. Des efforts pour réduire les émissions de SO₂ et de NO_x ont également été réalisés. Par ailleurs, les rejets de composés organohalogénés tels que les polychlorodibenzo-para-dioxines et les polychlorodibenzo-para-furannes (PCDD/F), l'hexachlorobenzène (HCB) et les polychlorobiphényles (PCB), associés aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et aux hydrocarbures aromatiques monocycliques, notamment le benzène, ont vu leur importance s'accroître fortement. Les émissions qualifiées de « diffuses » issues des installations et les émissions provenant des espaces de stockage ouverts ont également été contrôlées.

L'industrie sidérurgique contribue encore largement aux rejets atmosphériques dans l'UE pour certains métaux lourds et les PCDD/F, mais dans une moindre mesure pour les émissions de NO_x et de SO₂ (Tableau 1.2).

Paramètre	Année	Émissions dans l'Europe des 15 [t/an]	Pourcentage de contribution de l'industrie sidérurgique [%]
SO ₂	1994	12088000 ^{*1,2}	Ca.1,5 ^{*6}
NO _x	1994	12435000 ^{*1,2}	Ca.1 ^{*6}
Cd ^{*3}	1990	200	19
Cr ^{*3}	1990	1170	55
Cu ^{*3}	1990	3040	5
Hg ^{*3}	1990	250	3
Ni ^{*3}	1990	4900	3
Pb ^{*3,4}	1996	12100	9 ^{*7,8}
Zn ^{*3}	1990	11100	35
PCDD/F ^{*5}	1995	5800g I-TEQ	19

la production d'énergie n'est pas incluse

source : [EEA, 1997]

source : [TNO Report, 1997] ; ces chiffres incluent les aciéries intégrées (installations d'agglomération, fours à coke, hauts fourneaux, convertisseurs à oxygène) et les aciéries électriques

données corrigées en raison d'une réduction récente drastique des émissions de plomb des véhicules, d'après [UN-ECE Lead, 1998]

d'après [LUA NRW, 1997]

calculé d'après les facteurs d'émission indiqués au Chapitre 3

avec l'élimination progressive du plomb dans le pétrole, le pourcentage va augmenter

le croisement des données indiquées dans la Figure 1.8 et dans le chapitre indique que le pourcentage n'est que de 4 %

Tableau 1.2 : Contribution des aciéries intégrées (installations d'agglomération, cokeries, hauts fourneaux, aciéries à l'oxygène) et des aciéries à arc électrique aux émissions globales de SO₂, de NO_x, de métaux lourds et de PCDD/F dans l'Europe des quinze.

Les quantités de résidus, de déchets et de sous-produits solides sont globalement élevées (tableau 1.3). Les niveaux de recyclage et de réutilisation atteints sont relativement élevés, mais varient considérablement d'un pays de l'UE à l'autre et mériteraient de nouvelles optimisations.

Déchets / résidus / sous-produits solides	quantité spécifique [kg/t d'AL] ^{*1}	pourcentage mis en décharge [%] ^{*2}
Installations d'agglomération^{*3}	0,9-15	?
• poussières		
Cokeries^{*4}	-	-
Hauts fourneaux		
• poussières de la halle de coulée	?	?
• poussières et boues issues de la purification des gaz des hauts fourneaux	14 280	33 2
• laitier		
Désulfuration de la fonte brute	9-18	41
Convertisseurs à oxygène		
• grosses poussières et boues issues du traitement des gaz des convertisseurs	3-12 ^{*8}	42
• poussières fines et boues issues du traitement des gaz des convertisseurs	9-15 ^{*8} 99	12 26
• laitier du convertisseur	34	9
• laitier issu du chargement de la fonte brute, du mélangeur, du chargement de l'acier et du bassin de coulée	11 ^{*5}	?
• laitier issu de la métallurgie secondaire	6	76
• Produits réfractaires démantelés		
Fours à arc électrique		
• laitier	129	69
• aciers au carbone	109	59
• aciers faiblement alliés		
• aciers fortement alliés et aciers inoxydables	161 15 ^{*6}	34 63 ^{*6}
• poussières issues de l'évacuation du four et des locaux		
Coulée continue	4-6	- ^{*7}

facteurs de conversion utilisés (moyenne pondérée pour toutes les aciéries à l'oxygène européennes) : 940 kg de fonte brute/t d'acier liquide

le pourcentage résiduel est recyclé pendant le traitement ou utilisé autrement

les poussières de la bande d'agglomération, du refroidisseur et de dépoussiéreur de l'air ambiant sont normalement entièrement recyclées vers la bande, sauf dans certains cas où les poussières du dernier champ du séparateur électrostatique sont mises en décharge ; en cas d'application d'une épuration fine, les boues issues du traitement des eaux usées sont mises en décharge (cas très rares en Europe)

les sous-produits tels que le benzène, le goudron, la naphthaline, l'acide sulfurique, le soufre élémentaire, sont entièrement recyclés ou réutilisés

moyenne issue de trois aciéries à l'oxygène

moyenne pour les aciers au carbone, les aciers faiblement alliés et les aciers fortement alliés ou inoxydables

les battitures sont normalement recyclées vers l'installation d'agglomération

d'après [EUROFER BOF, 1997]

Toutes les données sont issues de [EC Study, 1996], sauf si la source est mentionnée par ailleurs. Indication de valeurs moyennes.

Tableau 1.3 : Quantité spécifique moyenne et pourcentage moyen de résidus, de déchets et de sous-produits solides, issus d'aciéries intégrées et d'aciéries à arc électrique, mis en décharge

Les déversements d'eaux usées issues des cokeries sont bien plus problématiques que les déversements d'eau provenant des circuits des hauts fourneaux, des aciéries à l'oxygène et des installations de coulée continue.

Les émissions sonores, la pollution locale des sols, ainsi que la pollution des nappes phréatiques sont d'autres points problématiques pour l'industrie sidérurgique.

La consommation d'énergie est considérable. La consommation d'énergie spécifique pour 1 tonne d'acier liquide produit dans une aciérie intégrée (four à coke, installation d'agglomération et haut fourneau) est d'environ 19,3 GJ (calcul effectué selon [Lüngen, 1995 ; Peters, 1994] et les tableaux 4.1, 5.1, 6.2, 7.1 et 8.2). La consommation de charbon constitue la majeure partie de la quantité mesurée.

Il faut également inclure la consommation d'électricité qui correspond à environ 1,6 GJ/t d'acier liquide (la consommation d'électricité en elle-même a été multipliée par trois afin de pouvoir la comparer à l'énergie primaire).

La consommation d'énergie spécifique pour la production d'acier dans les fours à arc électrique est d'environ 5,4 GJ/t d'acier liquide (selon le tableau 10.1). La consommation d'électricité a également été multipliée par trois.

2 STOCKAGE ET MANUTENTION DES MATIERES PREMIERES

La sidérurgie primaire nécessite des flux entrants très importants de matières premières, telles que des minerais, des pellets, de la ferraille, du charbon, de la chaux, de la castine (dans certains cas des huiles lourdes et du plastique), ainsi que des additifs et des produits auxiliaires. Ces matériaux sont généralement transportés en vrac jusqu'au site par la route, le rail ou la voie d'eau. Ils doivent être stockés, de même que les produits intermédiaires tels le coke et l'aggloméré, dans des aires de stockage ou des silos, puis transportés jusqu'à chaque atelier, le plus souvent par une bande transporteuse. La figure 2.1 présente un diagramme typique des flux de matières. Les poussières volatiles issues du stockage et des bandes transporteuses, points de transfert compris, peuvent être une source d'émissions importante. Lorsque les matériaux, y compris les composés lixiviables et les hydrocarbures issus des battitures ou de la ferraille, sont stockés dans des parcs à même la terre, il convient de contrôler la pollution des sols et des nappes phréatiques, ainsi que les eaux de ruissellement.

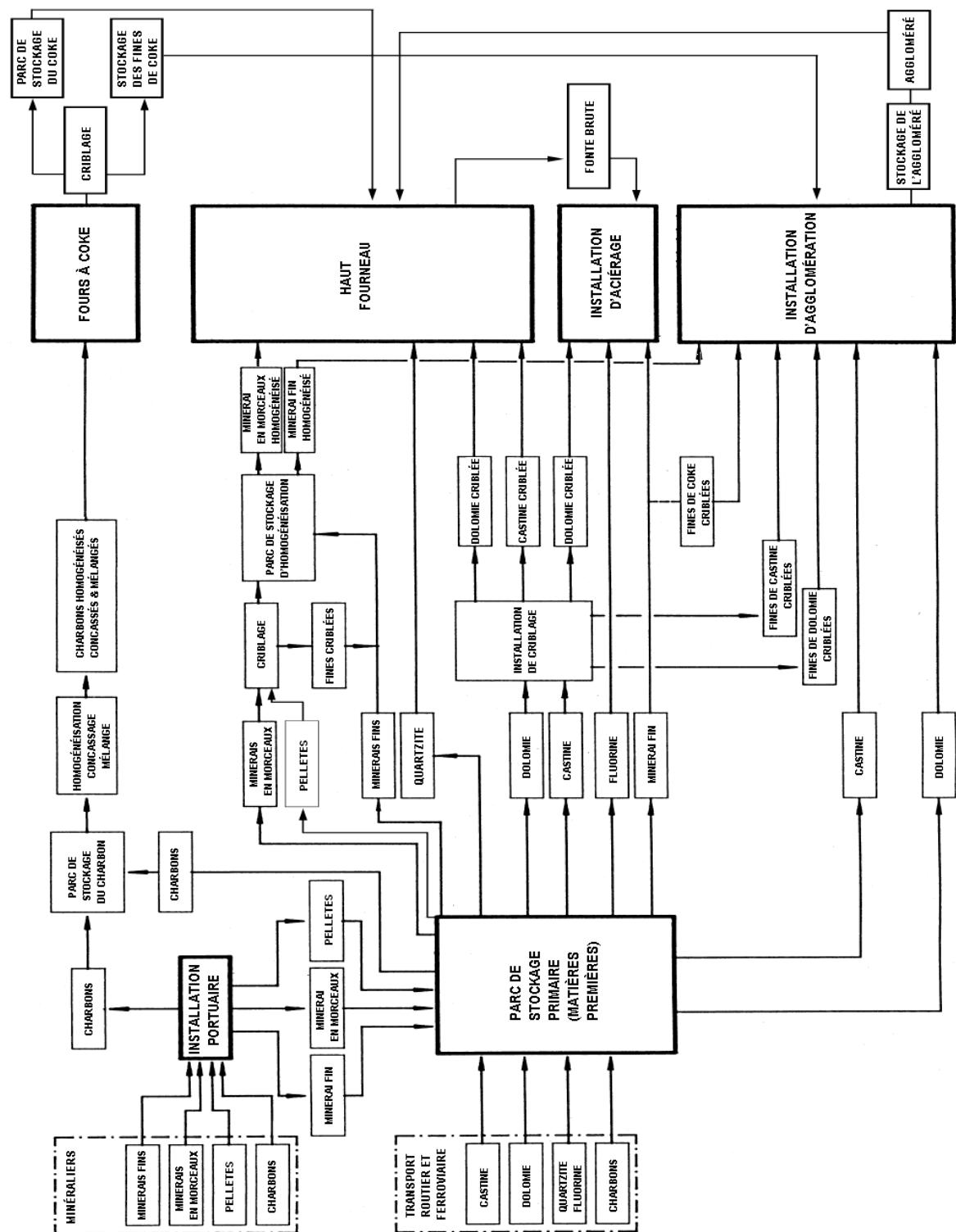


Figure 2.1 : Diagramme des flux de matières liés à une manutention typique dans une aciérie intégrée- [UK HMIP, 1993]

3 PRODUCTION DE L'ACIER - APERÇU GENERAL

3.1 Les différentes méthodes de production d'acier

Quatre méthodes sont actuellement utilisées pour la production d'acier : la méthode classique des hauts fourneaux et des convertisseurs à oxygène, la fusion directe de la ferraille (fours à arc électrique), la réduction par fusion et la réduction directe (Figure 3.1).

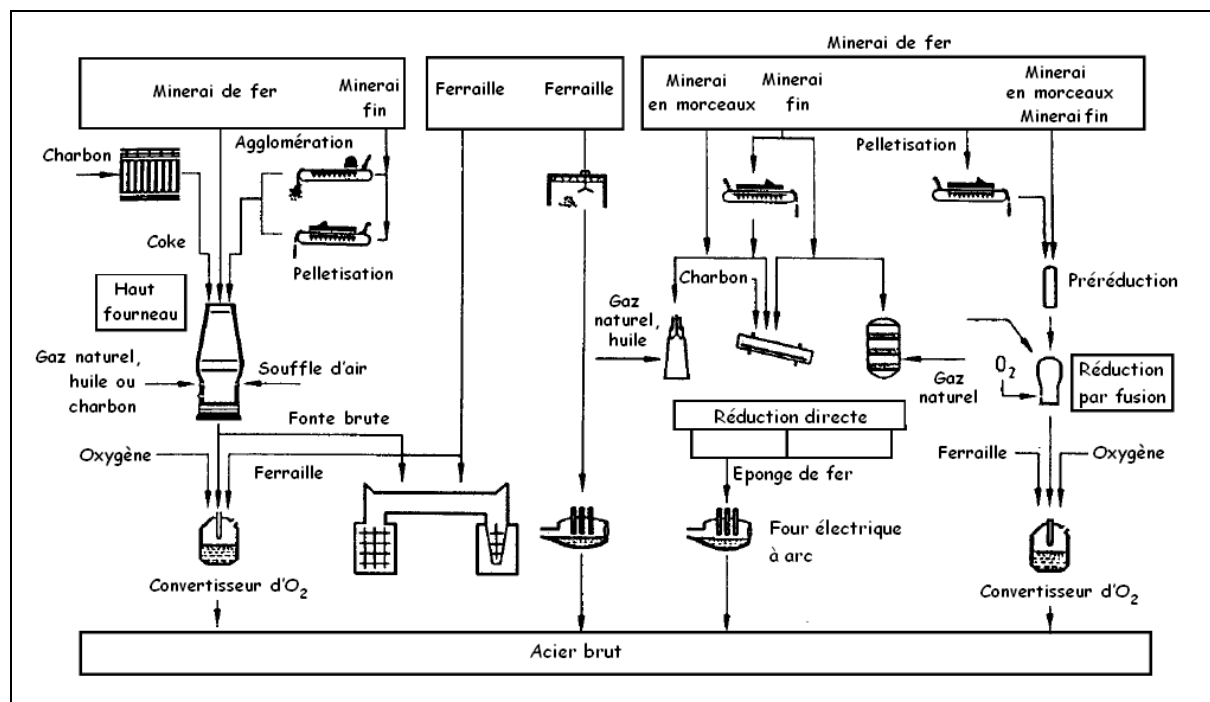


Figure 3.1 : Méthodes de production de l'acier brut – [Ullmann's, 1994]

Actuellement (en 1998), la production d'acier de l'Europe des quinze repose sur la méthode des hauts fourneaux et des convertisseurs à oxygène (environ 65 %), et celle des fours à arc électrique (environ 35 %) (cf. figure 1.2). Le pourcentage de la production mondiale d'acier brut par fusion et par réduction directe atteignait environ 4 % en 1996 [Hille, 1997]. En Europe, la production de fer par réduction directe se limite à environ 500 000 t/an (Allemagne et Suède), ce qui représente environ 1,5 % de la production mondiale. L'utilisation de fer directement réduit dans les aciéries électriques représentait 400 000 t dans l'Europe des quinze en 1995, mais l'intérêt pour ce matériau est croissant, ce qui a entraîné l'émergence de nouvelles technologies de production. Dans l'Europe des quinze, il n'existe actuellement aucune unité de réduction par fusion à l'échelle commerciale. Ainsi, les méthodes par fusion ou réduction directe ne sont pas décrites ici, mais seront mentionnées dans le chapitre « Techniques alternatives de production du fer ».

3.2 Aciéries intégrées

Des quatre procédés sidérurgiques décrits au point 3.1, la méthode classique des hauts fourneaux et des convertisseurs à oxygène est de loin la plus complexe. Elle est mise en œuvre sur de grands complexes industriels, connus sous le nom d'aciéries intégrées, qui couvrent des surfaces allant jusqu'à plusieurs kilomètres carrés (Figure 3.2). Les aciéries intégrées sont caractérisées par des réseaux de flux de matières et d'énergie interdépendants qui relient les différentes unités de production, dont la plupart sont traitées dans le présent BREF (installations d'agglomération, de pelletisation, cokeries, hauts fourneaux et convertisseurs à oxygène avec coulée postérieure). Avant de décrire plus en détail chacun de ces types d'installation, nous vous donnerons un aperçu général des interdépendances mentionnées précédemment.



Figure 3.2 : Vue aérienne d'une aciérie intégrée située près de la côte

3.2.1 Aperçu général des procédés

Les procédés industriels des aciéries intégrées traités dans le présent BREF sont indiqués dans la figure 3.3. Cette dernière donne un aperçu schématique des principaux flux de matière entrants et sortants au cours de chacune des étapes.

Dans une aciérie intégrée, la principale unité d'exploitation est le haut fourneau, où s'effectue la réduction primaire des minerais d'oxyde pour les transformer en fer liquide, également appelé fonte brute. Les hauts fourneaux modernes à hautes performances nécessitent une préparation physique et métallurgique du lit de fusion. Les deux types d'installations destinées à la préparation du minerai de fer sont les installations d'agglomération et de pelletisation. Les pellets sont presque toujours fabriqués à partir d'un minerai de fer ou d'un concentré bien précis (cf. figure 2.1) dans les installations minières et transportés sous cette forme. En Europe, il n'existe qu'une seule aciérie intégrée disposant également d'une installation de pelletisation. L'aggloméré est généralement produit dans les usines sidérurgiques à partir de mélanges prédéfinis de fines de minerai, de résidus et d'additifs.

Les principaux agents réducteurs présents dans les hauts fourneaux sont le coke et le charbon en poudre qui forment du monoxyde de carbone et de l'hydrogène, nécessaires à la réduction des oxydes de fer. Le coke et le charbon jouent en quelque sorte le rôle de combustible.

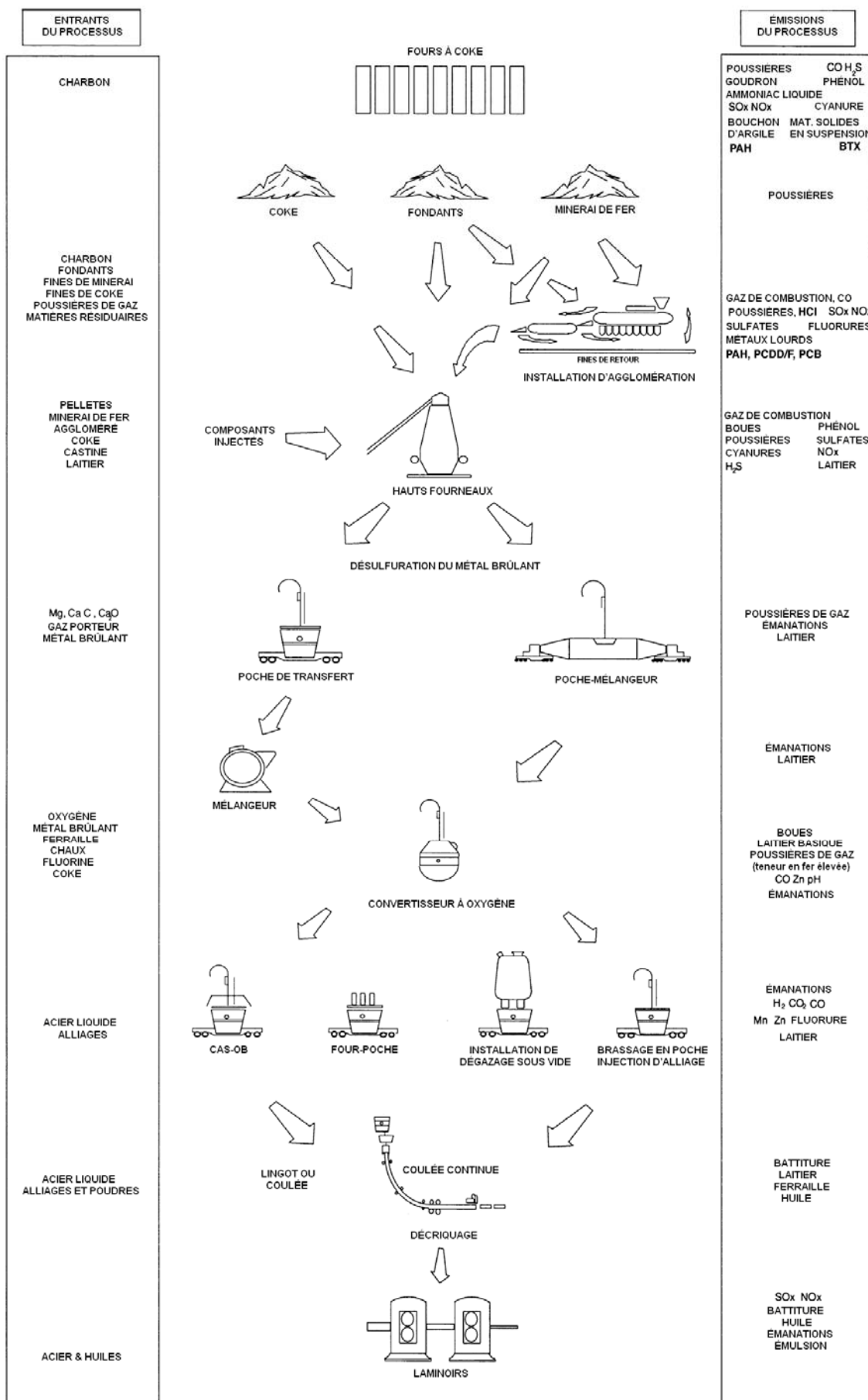


Figure 3.3 : Aperçu de la production d'acier dans une aciérie intégrée – [UK IPR 2/1, 1994]

(L'installation de pelletisation n'est pas représentée, une seule aciérie intégrée en Europe en ayant une)

Le coke est produit à partir du charbon par une distillation sèche réalisée dans un four à coke et présente de meilleures caractéristiques physiques et chimiques que le charbon. Dans la plupart des cas, les agents réducteurs ou les combustibles additionnels sont fournis par une injection de fioul, de gaz naturel et (plus rarement) de plastique. Un vent chaud fournit l'oxygène nécessaire pour former le monoxyde de carbone (CO), l'agent réducteur de base des oxydes de fer.

Le haut fourneau est chargé par le haut avec un lit de fusion composé de couches alternées de coke et d'un mélange d'aggloméré et/ou de pellets, de minerai en morceaux et de fondants. Dans le four, le minerai de fer subit une réduction très importante, puis le fer liquide et le laitier sont récupérés au fond du four, d'où ils sont ensuite coulés.

Le laitier issu du haut fourneau est mis en grenailles, pelletisé ou coulé en crassiers. Les grenailles ou les pellets de laitier sont généralement vendus aux cimenteries. Egalement, le laitier de crassiers peut être utilisé pour la construction de routes.

Le fer liquide issu du haut fourneau (fonte brute) est transporté jusqu'à un convertisseur à oxygène, où la teneur en carbone (d'environ 4 %) est réduite à moins de 1 %, ce qui le transforme en acier. La désulfuration en poche de la fonte brute en amont et la métallurgie en poche de l'acier en aval sont généralement réalisées afin d'obtenir la qualité désirée pour l'acier. Lorsqu'il quitte le convertisseur à oxygène, l'acier liquide est coulé soit en lingotière, soit en continu. Dans certains cas, un dégazage sous vide peut être effectué afin d'améliorer encore la qualité de l'acier.

Les produits coulés, que ce soit sous forme de lingots, de brames, de billettes ou de blooms, sont ensuite passés dans des laminoirs et sur des chaînes de produits finis afin de les préparer à leur commercialisation.

3.2.2 Interdépendance entre les différents procédés ou unités de production au niveau de l'énergie, des sous-produits et résidus, de l'air et de l'eau

L'aperçu général des procédés donné à la figure 3.3 montre les différentes unités de production d'une aciérie intégrée. Les unités sont reliées entre elles en termes à la fois de flux de production et de flux internes de résidus (battitures, poussières filtrées, boues issues du lavage des gaz de haut fourneau ou des gaz de convertisseur à oxygène, etc.), d'eau (traitement commun de différents flux d'eaux usées, utilisation en cascade de l'eau de refroidissement, etc.) et d'énergie (gaz de four à coke, gaz de haut fourneau, gaz de convertisseur à oxygène, vapeur d'eau issue des turbines à haute pression des hauts fourneaux ou des convertisseurs à oxygène, etc.). Ces interdépendances ont été mises en œuvre afin de minimiser les émissions et d'optimiser la productivité tout en réduisant les coûts.

3.2.2.1 Énergie

L'interdépendance énergétique est la plus complexe des interdépendances. La figure 3.4 illustre un exemple de flux entrants et sortants pour chaque type d'énergie différent, associé au flux énergétique interne d'une aciérie intégrée. Les matières premières énergétiques dominantes sont le charbon et le coke, dans le cas d'un achat auprès d'un fournisseur extérieur. L'électricité, le gaz naturel, le fioul et (plus rarement) le plastique sont également des matières premières énergétiques. Les gaz de four à coke, les gaz de haut fourneau et les gaz de convertisseur à oxygène sont destinés à plusieurs utilisations (chauffage des batteries des fours à coke, approvisionnement des fours chauds, allumage du produit à agglomérer, chauffage des fours pour le laminage à chaud, etc.). La vapeur d'eau issue des turbines à haute pression des hauts fourneaux ou des convertisseurs à oxygène est également utilisée pour différents procédés.

Les gaz de four à coke et les gaz de haut fourneau sont recueillis et utilisés dans toutes les aciéries intégrées. En revanche, ce n'est pas le cas des gaz de convertisseur à oxygène ou de la vapeur d'eau recueillie au niveau des turbines haute pression des hauts fourneaux. La récupération de la vapeur d'eau dépend de la haute pression des hauts fourneaux, des conditions d'exploitation des convertisseurs à oxygène et de l'utilisation possible des gaz de convertisseur à oxygène.

La figure 3.5 fournit une description détaillée de la répartition quantitative des différents types d'énergie dans les aciéries intégrées. Toutes les données de cette figure se rapportent à l'ensemble des matières premières énergétiques, y compris les sources externes d'électricité. Environ 88 % de l'énergie importée est finalement dérivée du charbon, transformé à 83 % en coke. Dans une aciérie intégrée, les hauts fourneaux consomment environ 60 % de l'énergie totale, suivis par les laminoirs (25 %), les installations d'agglomération (environ 9 %) et les fours à coke (environ 7 %).

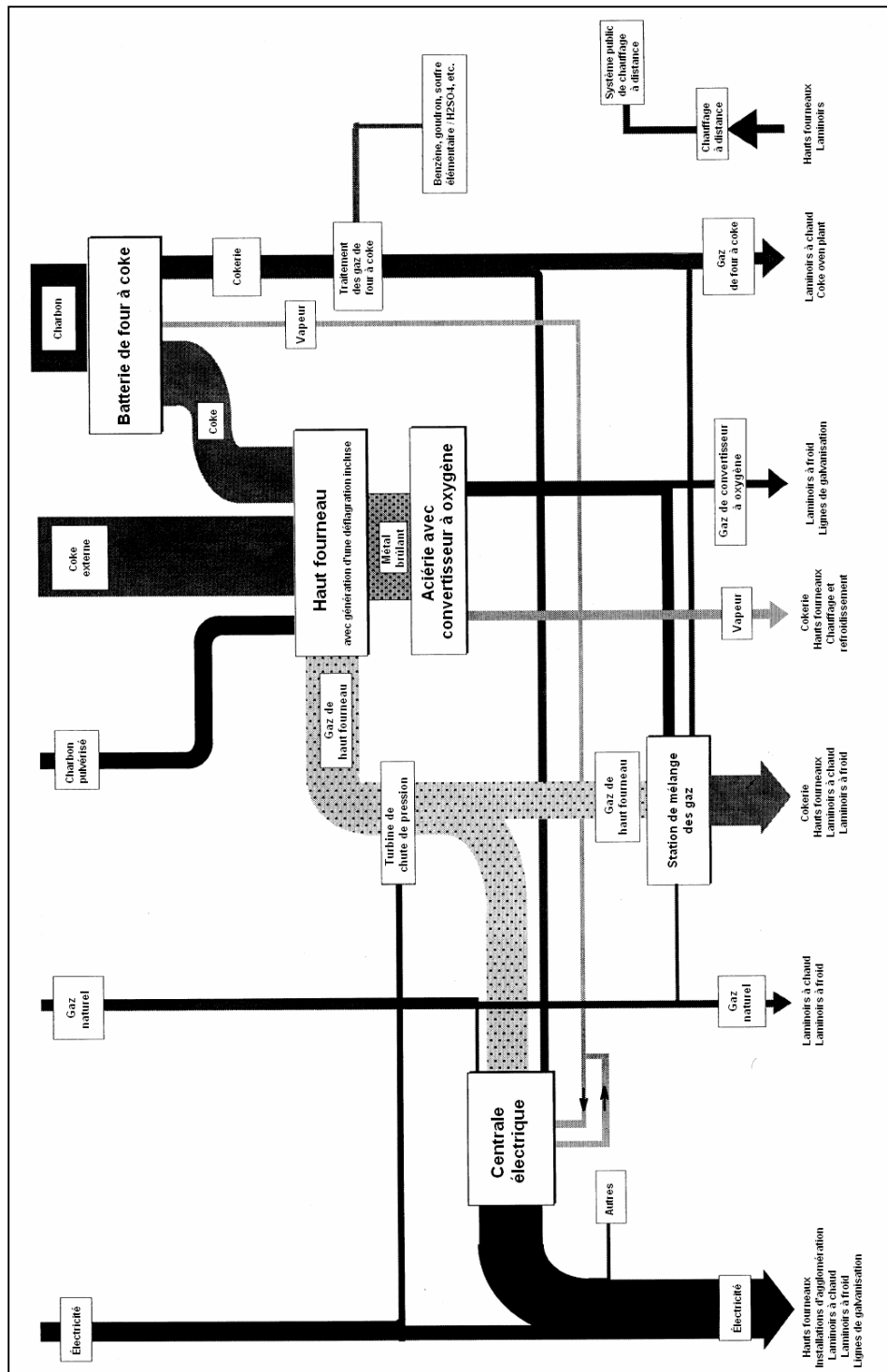


Figure 3.4 : Exemple des flux entrants, sortants et internes dans le système énergétique d’une aciérie intégrée moderne – [Joksch, 1998]

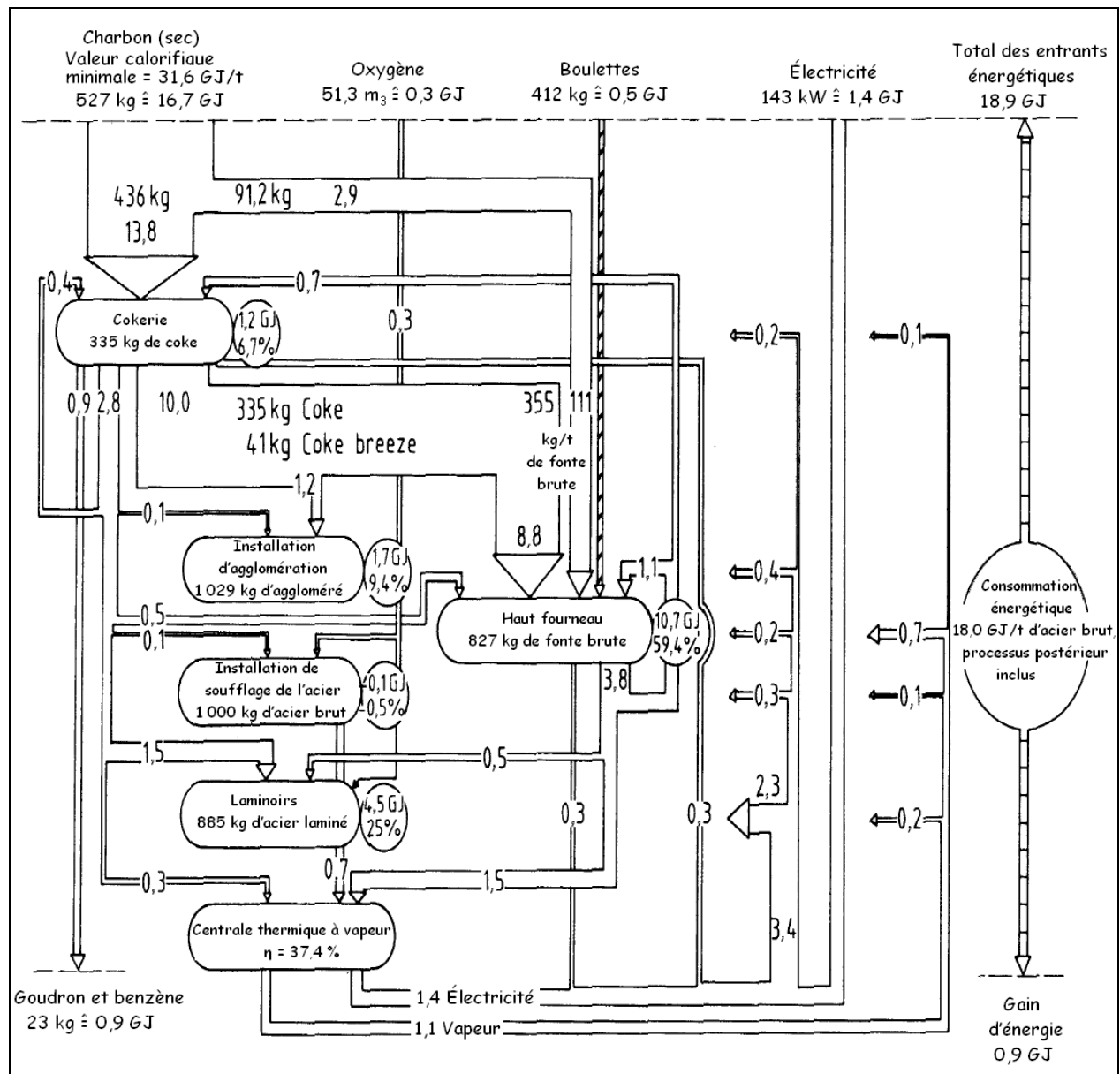


Figure 3.5 : Répartition typique de la demande énergétique dans une aciérie intégrée par tonne d'acier brut – [Ullmann's, 1989]

Cet exemple confirme les valeurs indiquées au point 1.5.

3.2.2.2 Résidus et sous-produits solides

La gestion des résidus dans une aciérie intégrée est caractérisée par des techniques avancées destinées à valoriser les différents types de laitiers, ainsi que par le recyclage de la plupart des résidus dans l'installation d'agglomération, qui peut être considérée comme le « système digestif » d'une aciérie intégrée. Ainsi, outre le procédé d'agglomération lui-même, l'installation d'agglomération joue le rôle important de recycler les résidus pour lesquels il n'existe pas d'alternative. Seule une petite partie du volume total des résidus est mise en décharge. Ces résidus mis en décharge sont souvent composés des poussières fines issues de l'épuration des gaz du haut fourneau, des granulats, des poussières fines issues de l'épuration des gaz de convertisseur à oxygène (lors d'un lavage par voie humide) et, dans certains cas, de chlorures à forte teneur en alcalis et de chlorures de métaux lourds issus du dernier champ du séparateur électrostatique qui traite les rejets gazeux provenant des bandes d'agglomération.

La figure 3.6 constitue un exemple typique de la gestion des sous-produits et des résidus dans une aciérie intégrée.

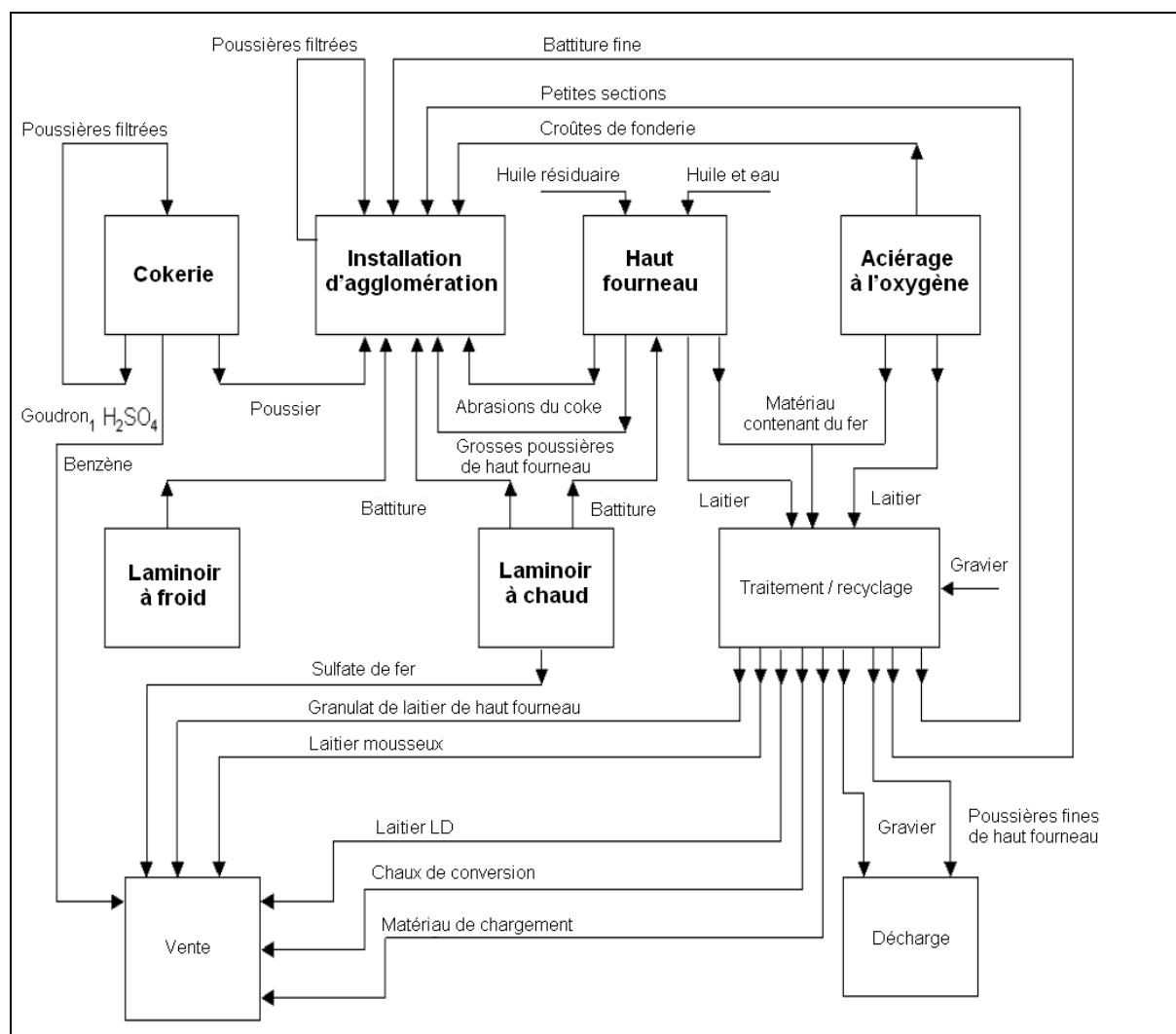


Figure 3.6 : Exemple typique de gestion des résidus et des sous-produits dans une aciérie intégrée – d'après [Bothe, 1993]

3.2.2.3 Eau

La gestion de l'eau dans une aciérie intégrée dépend premièrement des conditions locales et surtout de la disponibilité en eau douce et des exigences légales. Des interdictions légales auraient pour but de minimiser les déversements des eaux de refroidissement et des eaux usées polluées, mais il existe également des cas où les autorités demandent d'éviter les panaches issus des tours de refroidissement qui empêchent un recyclage ultérieur des eaux de refroidissement.

La figure 3.7 donne un exemple de gestion de l'eau avec une indication du traitement des eaux pour une aciérie intégrée bénéficiant d'une très grande disponibilité en eau. Cela explique la présence de nombreux systèmes de refroidissement en circuit ouvert, qui entraînent une consommation d'eau particulière de plus de 100 m³/t d'acier. Sur les sites où la disponibilité en eau douce est moins importante, il est nécessaire d'économiser l'eau autant que possible. Dans certains cas, la consommation d'eau peut être spécifiquement inférieure à 10 m³/t d'acier, voire inférieure à 5 m³/t d'acier. Les interdépendances sont alors encore plus grandes.

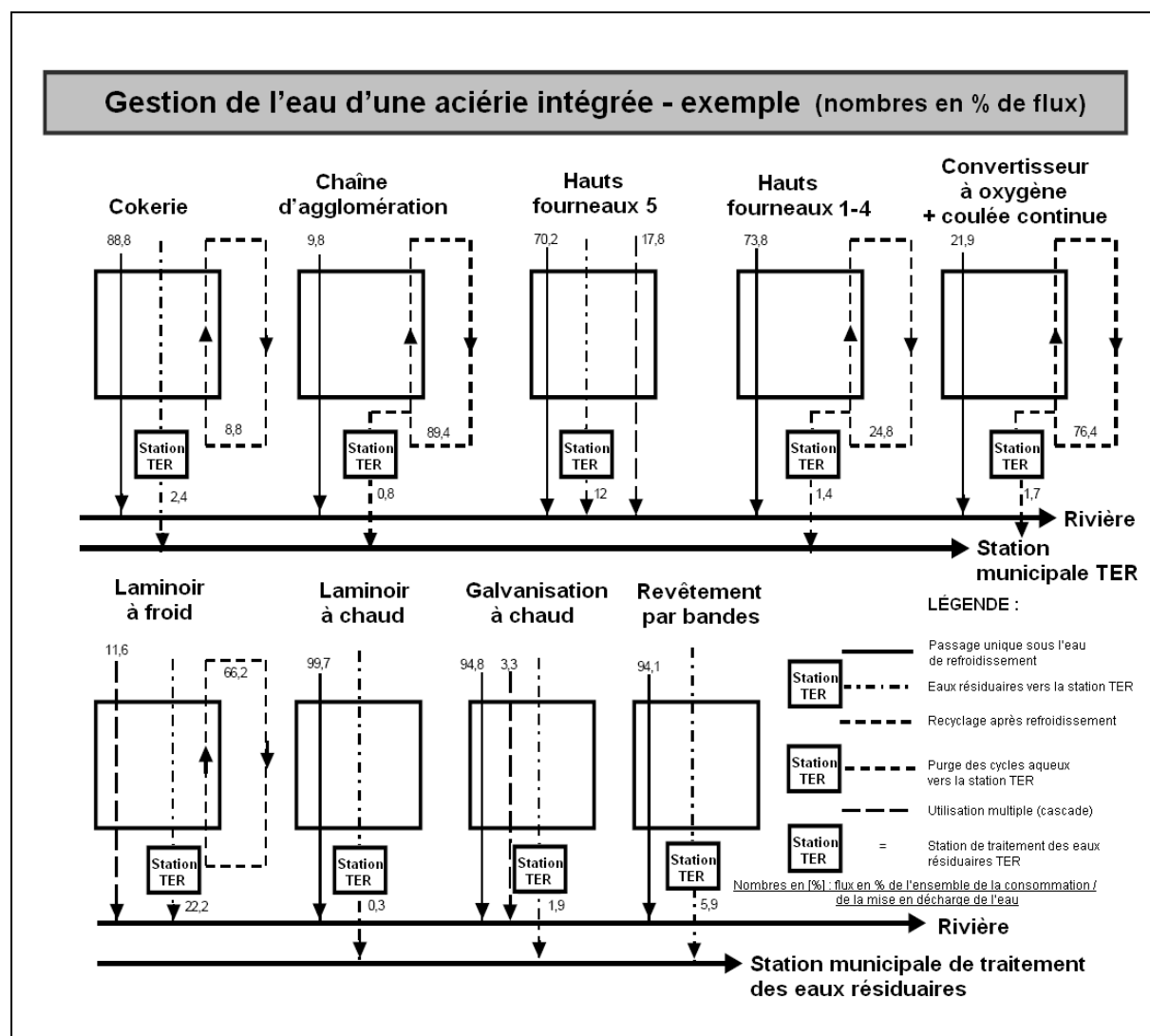


Figure 3.7 : Exemple de gestion de l'eau dans une aciérie intégrée bénéficiant d'une très grande disponibilité en eau

4 INSTALLATIONS D'AGGLOMERATION

4.1 Procédés et techniques appliqués

4.1.1 Objectif du procédé d'agglomération

Les hauts fourneaux modernes à hautes performances permettent l'amélioration des performances grâce à une préparation physique et métallurgique préalable du lit de fusion, ce qui permet d'augmenter la perméabilité et la capacité de réduction. Cette préparation entraîne l'agglomération de la charge du four soit par frittage soit par pelletisation (cf. chapitre 5). La charge se compose d'un mélange de fines de minerai, d'additifs, de matériaux ferreux recyclés issus d'opérations en aval tels que les grosses poussières et les boues provenant de l'épuration des gaz du haut fourneau, des battitures, des croûtes de fonderie, etc., auxquels s'ajoutent du poussier de coke qui permet son allumage. En Europe, l'agglomération est réalisée exclusivement à vide, sur des grilles qui avancent en permanence (Figure 4.1 et Figure 4.2).



Figure 4.1 : Photographie d'une bande d'agglomération avec l'installation de chargement (tambours ou déverseurs) et le tablier d'allumage en bout de bande

4.1.2 Mélange des matières premières

Les matières premières doivent être mélangées avant les opérations d'agglomération. Cela implique généralement la mise en couche des matériaux sur une surface préparée, dans des quantités précises requises pour les opérations d'agglomération. Certains flux de matériaux peuvent également être ajoutés à cette étape, tels que les matériaux recyclés issus d'opérations en aval, comme mentionné précédemment. Pour finir, les lits de minerai sont généralement recouverts d'une couche de matériaux

à gros granulats afin d'éviter qu'ils ne soient soufflés par le vent. Au début des opérations d'agglomération, le mélange de minerai est transporté des couches aux réservoirs de stockage, à l'entrée de l'installation d'agglomération.

D'autres additifs tels que la chaux, l'olivine, les poussières récupérées et les battitures, les poussières (et dans une moindre mesure les boues) issues de l'épuration des gaz du haut fourneau et l'aggloméré recyclé (des particules de moins de 5 mm de diamètre) issu du criblage de l'aggloméré (Figure 4.2) peuvent être ajoutés à la préparation de minerai à l'étape du mélange.

Le poussier de coke (coke à petits granulats présentant une taille inférieure à 5 mm) est le combustible le plus fréquemment utilisé dans le processus d'agglomération. Il est généralement produit directement dans une cokerie sur site et stocké dans des réservoirs pour une utilisation ultérieure. Le poussier peut également être obtenu à partir de coke concassé. Dans certains cas, l'anhracite est utilisé comme combustible. Les aciéries intégrées qui disposent d'un volume de coke insuffisant pour répondre aux besoins de leur installation d'agglomération font appel à des fournisseurs de poussier de coke extérieurs.

Le mélange de minerai et le poussier de coke sont pesés sur les bandes transporteuses et chargés dans un tambour mélangeur. Ils y sont entièrement mélangés, puis le mélange est humidifié pour favoriser la formation de micro pellets, qui améliorent la perméabilité du lit d'agglomération (Figure 4.2).

Lorsque des réservoirs sont utilisés pour le mélange, les émissions sont réduites grâce à l'évacuation des particules puis à la purification des gaz récupérés.

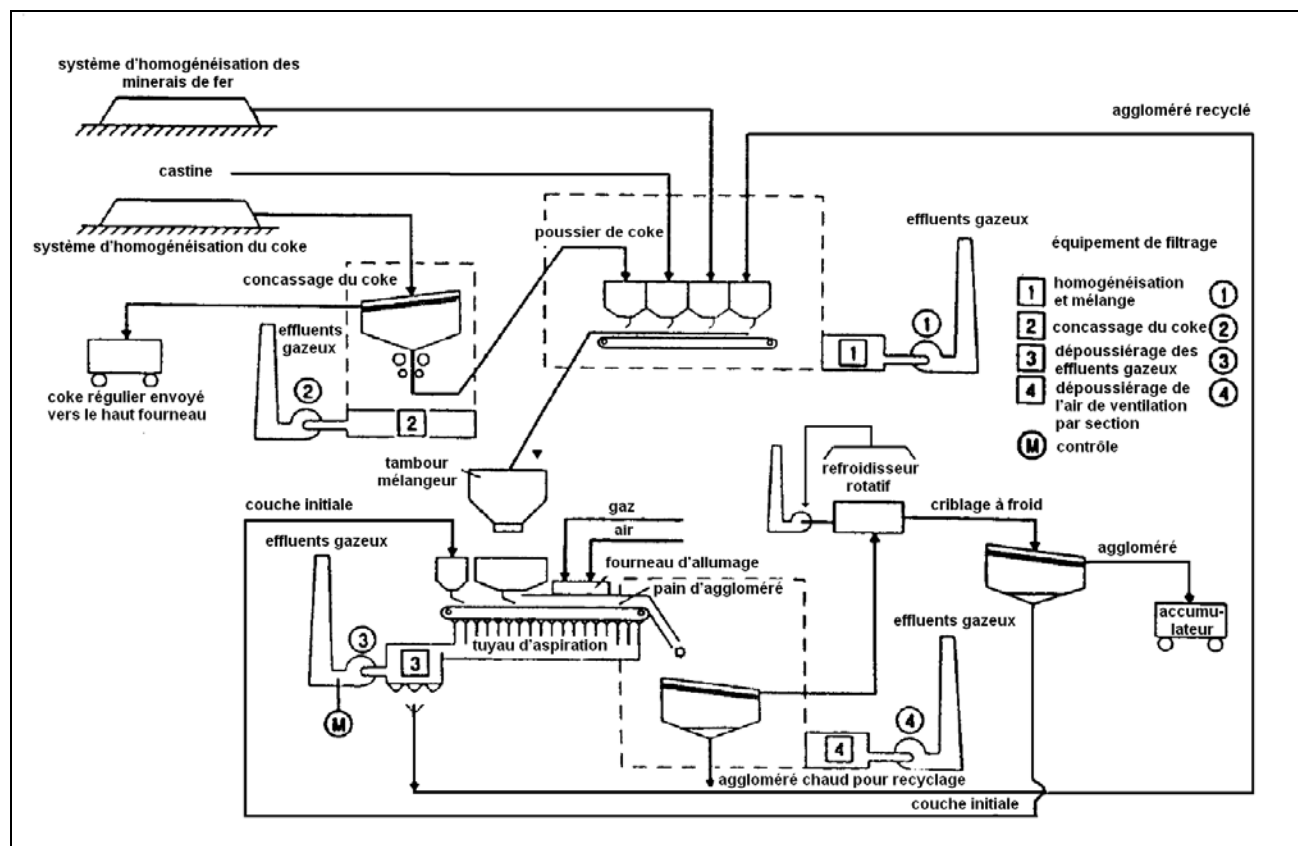


Figure 4.2 : Diagramme schématique d'une installation d'agglomération présentant les principaux points d'émission – [Theobald 1, 1995]

D'autres modèles de conception sont également utilisés ; la figure représente les installations utilisant le concassage du coke et le mélange du lit de fusion ; les cheminées représentées sur la figure indiquent les sources d'émission ; en réalité, le nombre des cheminées est moins important car chaque cheminée peut combiner plus d'un flux de gaz résiduels.

4.1.3 Exploitation des bandes d'agglomération

L'installation d'agglomération se compose principalement d'une large grille mobile en fonte résistante à la chaleur (Figure 4.1). Le matériau à agglomérer est placé sur le dessus d'une couche d'aggloméré recyclé épaisse de 30 à 50 mm. Le fond de la couche empêche que le mélange passe à travers les interstices de la grille et protège la grille de la chaleur directe du mélange en combustion.

Dans les installations d'agglomération modernes, les couches de matériaux à agglomérer mesurent entre 400 et 600 mm d'épaisseur, mais les lits des installations plus anciennes sont souvent moins profonds. Au début de la grille, un tablier comportant des brûleurs à gaz allume le poussier de coke dans le mélange. Dans le processus à courant d'air descendant, un ventilateur puissant souffle de l'air industriel tout le long du lit d'agglomération jusque dans les chambres de répartition situées sous la grille, appelées « boîtes à vent ». Les rejets gazeux s'écoulent de l'installation d'agglomération à une vitesse qui varie de 350 000 à 1 600 000 Nm³/h, en fonction de la taille de l'installation et des conditions d'exploitation [EC Sinter/BF, 1995]. Le flux spécifique des rejets gazeux représente entre 1 500 et 2 500 Nm³/t d'aggloméré calibré [UBA Comments, 1997]. La plupart des installations d'agglomération disposant d'une large zone d'aspiration (plus de 250 m² et/ou une grille de plus de 3 m de largeur) ont deux récupérateurs de rejets gazeux avec des ventilateurs séparés et des appareils de dépoussiérage qui pourraient être adaptés à des mesures plus strictes de réduction des émissions [Bothe, 1993].

Comme le mélange à agglomérer avance sur une grille, le front de combustion est tiré vers le bas, à travers le mélange. Cela crée une chaleur suffisante (entre 1 300 et 1 480 °C) pour agglomérer les particules fines et les transformer en mâchefer poreux, également appelé aggloméré.

Un certain nombre de réactions chimiques et métallurgiques ont lieu pendant le processus d'agglomération. Elles entraînent la production à la fois de l'aggloméré, mais aussi des poussières et des émissions gazeuses. Ces réactions se superposent et s'influencent les unes les autres, ce qui provoque des réactions à l'état solide hétérogènes entre les phases fusionnelles, solides et gazeuses qui se succèdent dans la zone d'agglomération. Les processus et réactions suivants ont lieu dans des mélanges d'aggloméré présentant une basicité moyenne (entre 1,5 et 1,7, qui sont des valeurs très fréquentes, cf. figure 4.9) [Matzke, 1987] :

- évaporation de l'humidité,
- préchauffage et calcination des composés basiques, allumage du poussier de coke et réactions entre le carbone, la pyrite, les composés de chlorure et de fluorure et l'oxygène en suspension,
- décomposition des hydrates et séparation des carbonates,
- réaction entre la chaux et les hématites,
- réaction entre le silicate, la chaux et l'oxyde de fer pour obtenir une coulée de silicate et augmenter la proportion des phases de fusion,
- formation de composés de calcium et de soufre et de composés fluorés, ainsi que des chlorures alcalins et des chlorures de métaux,
- réduction des oxydes de fer en fer métallique dans les zones à haute température,

- effets générés par la cavité et la rigole d'écoulement lors de la combustion du coke et de l'évaporation de l'humidité,
- processus de réoxydation et de recristallisation avec des effets de rétrécissement, de réduction et de durcissement pendant le refroidissement de l'aggloméré,
- formation de fissures dues à des déformations thermiques pendant le refroidissement de l'aggloméré et défauts dans la microstructure de l'aggloméré.

La figure 4.3 indique les zones de température et de réaction d'une couche d'aggloméré 6 minutes après l'allumage. Les profils d'émission de différents paramètres (H_2O , O_2) (cf. figure 4.5) et polluants (CO_2 , CO , SO_2 , NO_x , chlorures alcalins, chlorures de métaux lourds et PCDD/F) pourraient être analysés (cf. figure 4.5, figure 4.8 et 4.2.2.1.2).

Des polluants nombreux et différents sont présents dans les rejets gazeux des bandes d'agglomération, comme c'est le cas dans la plupart des procédés de combustion. Le gaz contient des particules (métaux lourds, le plus souvent des composés de fer, mais aussi d'autres composés, notamment de plomb), des chlorures alcalins, des oxydes de soufre, des oxydes d'azote, du chlorure d'hydrogène, du fluorure d'hydrogène, des hydrocarbures, du monoxyde de carbone, ainsi que quelques traces non négligeables d'hydrocarbure aromatique polycyclique et de composés aromatiques organohalogénés tels que les PCDD/F et le biphényle polychloré. Comme décrit dans la figure 1.8, les émissions gazeuses issues de l'installation d'agglomération dominant l'ensemble des émissions (masse par unité de temps) d'une aciérie intégrée. Des informations détaillées sur les processus de formation, les quantités rejetées et le profil d'une bande d'agglomération en termes de polluants sont données dans la section 4.2.

Le poussier de coke est entièrement brûlé avant d'atteindre la fin de la grille et la ou les deux dernières boîtes à vent sont consacrées au début du processus de refroidissement. Le refroidisseur peut être intégré à la bande d'agglomération mais en est le plus souvent séparé. Une fois produit, l'aggloméré atteint la fin de la grille sous la forme d'un pain qui est ensuite brisé sur une plate-forme d'écrasement par un broyeur. Dans de nombreuses installations, l'aggloméré subit ensuite un processus de criblage à chaud qui permet de séparer les granulats fins de moins de 5 mm environ pour les recycler en un mélange de combustible (Figure 4.2).

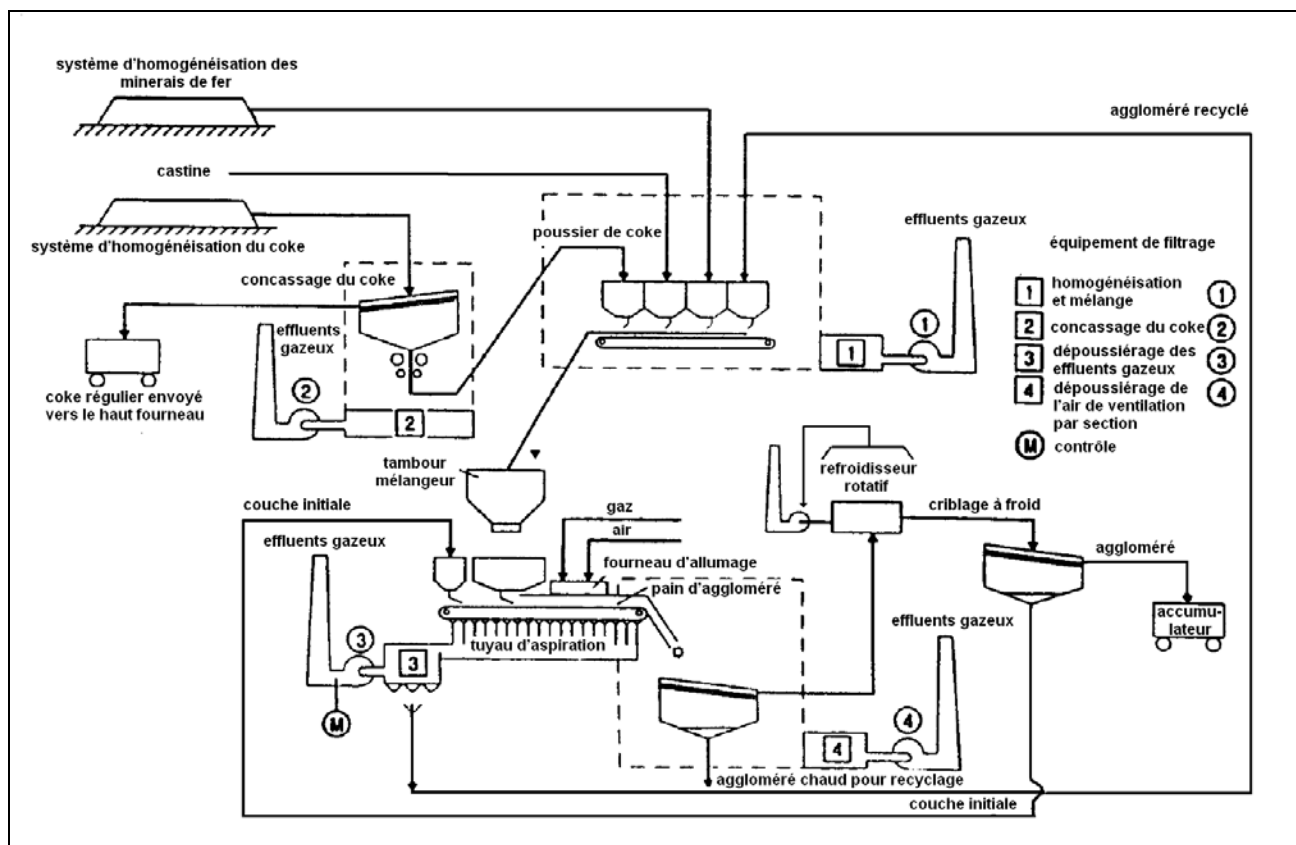


Figure 4.3 : Diagramme schématisé des zones de température et de réaction dans un processus d'agglomération – d'après [Dietrich, 1961]

4.1.4 Criblage à chaud et refroidissement de l'aggloméré

Lorsque le refroidissement n'est pas intégré dans la bande d'agglomération, le matériau aggloméré passe dans un refroidisseur après avoir quitté la bande. Le refroidisseur est généralement une structure en rotation de 20 à 30 m de diamètre. L'aggloméré y est placé dans une couche de plus d'1 m d'épaisseur. L'aggloméré est refroidi par l'air, qui traverse la couche selon un principe de circulation forcée. Le flux des gaz de refroidissement de l'aggloméré est élevé et dépend du type et de l'âge du système utilisé. Un flux spécifique atteint entre 1 500 et 2 500 Nm³/tonne d'aggloméré, ce qui correspond à des taux de 100 000 à 1 000 000 Nm³/heure [EC Sinter/BF, 1995]. Parfois, la chaleur sensible des gaz résiduels du refroidisseur d'aggloméré est utilisée dans une chaudière de récupération, dans les hottes d'allumage de la grille d'agglomération ou pour préchauffer le combustible vert. D'autres types de refroidisseurs existent également.

L'aggloméré refroidi est transféré sur des toiles de criblage qui séparent les éléments utilisés dans les hauts fourneaux (4 à 10 mm et 20 à 50 mm) des éléments qui subiront un nouveau processus d'agglomération (0 à 5 mm dits « fines de retour », 10 à 20 mm dits « fond de creuset »).

4.2 Niveaux de consommation et d'émission actuels

4.2.1 Vue d'ensemble des flux entrants et sortants

La figure 4.4 donne un aperçu des flux entrants et sortants d'une installation d'agglomération. Cet aperçu peut être utilisé pour recueillir des données concernant les installations d'agglomération.

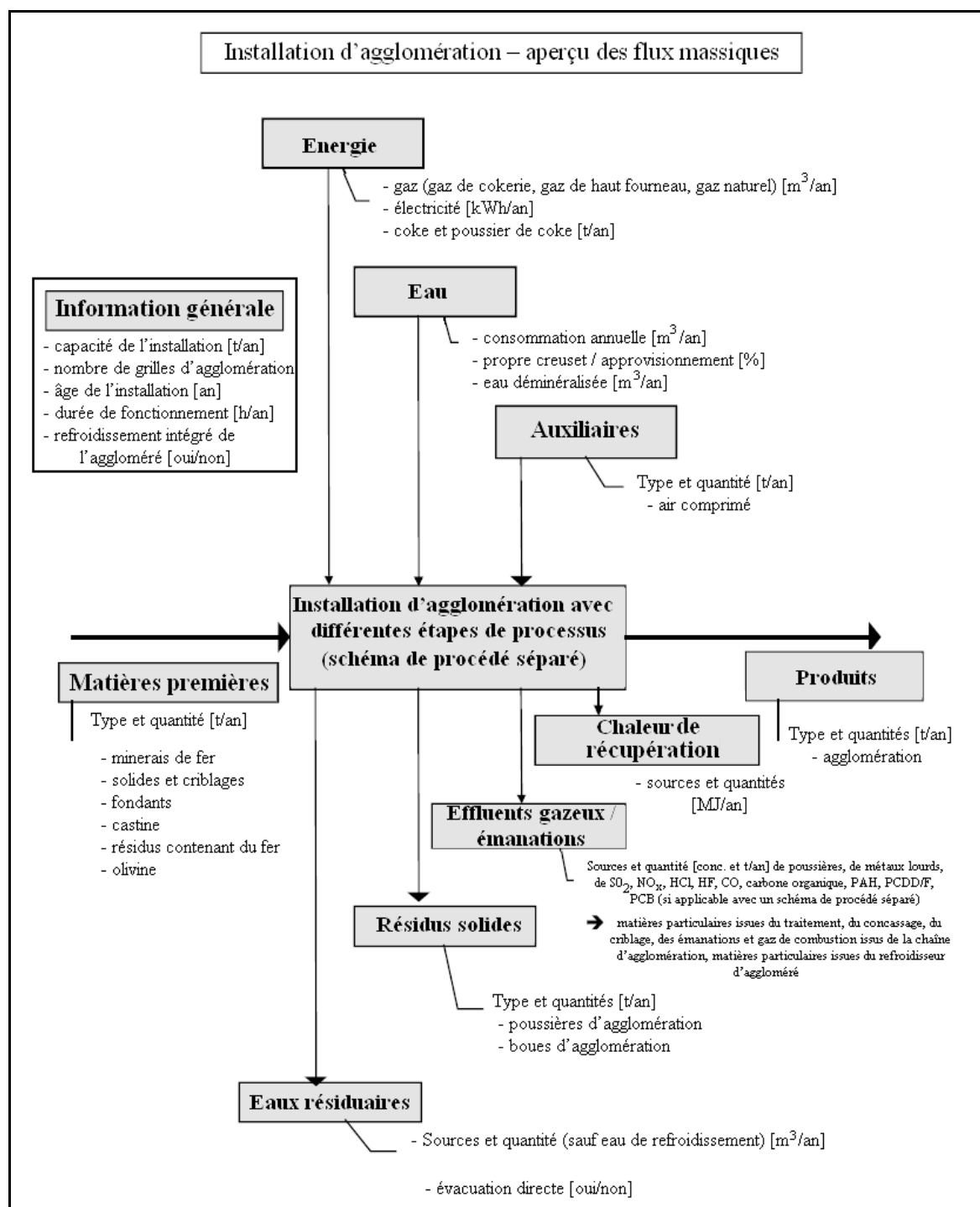


Figure 4.4 : Aperçu des flux de matière d'une installation d'agglomération

Grâce à l'aperçu des flux, il est possible de calculer à la fois les facteurs de consommation spécifiques et les facteurs d'émission spécifiques. Le tableau 4.1 présente ces données pour cinq installations d'agglomération dans quatre États membres de l'UE différents, ce qui permet de donner une idée précise des installations modernes.

Les facteurs d'émission sont indiqués par tonne d'acier liquide, afin de simplifier l'addition des émissions issues des différentes étapes de la production.

Consommation			Production		
Matières premières			Produit		
minerai de fer	kg/t d'aggloméré	680-850 ^{*1}	aggloméré	kg/t d'aggloméré	1000,0
autres matériaux ferreux	kg/t d'aggloméré	37-125	Émissions gazeuses		
chaux	kg/t d'aggloméré	0,5-14	poussières	g/t d'AL ^{*4}	170-280 ^{*5}
castine	kg/t d'aggloméré	105-190	Cd	g/t d'AL	0,002-0,04 ^{*6}
additifs	kg/t d'aggloméré	26-42	Cr	g/t d'AL	0,005-0,05 ^{*6}
poussières des gaz de haut fourneau	kg/t d'aggloméré	11-27	Cu	g/t d'AL	0,007-0,16 ^{*6}
matériaux recyclés	kg/t d'aggloméré	42-113	Hg	mg/t d'AL	16-149 ^{*13}
aggloméré recyclé en interne après criblage	kg/t d'aggloméré	230-375	Mn	g/t d'AL	0,02-0,4 ^{*6}
			Ni	g/t d'AL	0,002-0,04 ^{*6}
			Pb	g/t d'AL	0,04-7 ^{*6}
			Tl	g/t d'AL	0,005-0,03 ^{*6}
Énergie			V	g/t d'AL	0,005-0,02
gaz de four à coke / gaz de haut fourneau / gaz naturel	MJ/t d'aggloméré	57-200 ^{*2}	Zn	g/t d'AL	0,002-1,8 ^{*6}
coke	MJ/t d'aggloméré	1260-1380 ^{*3}	HCl	g/t d'AL	17-65
électricité	MJ/t d'aggloméré	96-114	HF	g/t d'AL	1,4-3,5
			NO _x	g/t d'AL	440-710
			SO ₂	g/t d'AL	900-1850
			CO	kg/t d'AL	13-43
Air comprimé	Nm ³ /t d'aggloméré	1,2-3	CO ₂	kg/t d'AL	205-240 ^{*7}
			COV ^{*8}	g/t d'AL	150 ^{*8}
			PAH ^{*9}	mg/t d'AL	115-915
			PCDD/F	µg I-TEQ/t d'AL	0,5-6,5
Eau	m ³ /t d'aggloméré	0,01-0,35	PCB ^{*10}	mg/t d'AL	1-13
			Résidus / sous-produits		
			poussières ^{*11}	kg/t d'AL	0,9-15
			boues ^{*12}	kg/t d'AL	0,3
Légende :			Eaux usées^{*12}	m ³ /t d'AL	0,06

jusqu'à 1 065 kg/t d'aggloméré en cas d'utilisation de minerai à faible teneur en fer

la consommation dépend de l'efficacité de l'installation d'allumage

avec 28 650 kJ/kg de poussier de coke : entre 44 et 48 kg de poussier de coke/t d'aggloméré

facteurs de conversion utilisés (moyenne pondérée pour tous les hauts fourneaux et toutes les aciéries à l'oxygène européens) : 1 160 kg d'aggloméré/t de fonte brute ; 940 kg de fonte brute/t d'AL

valeurs données pour l'électrofiltre ; en cas d'utilisation de cyclones : entre 560 et 740 g de poussières/t d'AL ; en cas d'utilisation de l'électrofiltre + filtre à manche : entre 10 et 30 g de poussières/t d'AL (une installation en Europe) issues de la bande d'agglomération ; en cas de recours à l'épuration fine : moins de 110 g de poussières/t d'AL (deux installations en Europe)

valeur plus basse en cas d'utilisation d'un système de trempe et d'épuration fine après l'électrofiltre ou d'un électrofiltre suivi d'un filtre à manche

valeurs jusqu'à 425 kg CO₂/t d'AL en cas d'utilisation de carbonate de fer (II) contenant du minerai de fer se décomposant en FeO et en CO₂

données provenant d'une seule installation ; le COV a été mesuré en permanence avec un détecteur à ionisation de flamme (11 cycles de mesure)

somme d'EPA 16, calculée d'après Borneff 6 ($\text{EPA 16} = \text{Borneff 6} \times 4$) avec $2\,100\text{ Nm}^3/\text{t}$ d'aggloméré

somme de tous les PCB, calculée d'après $(\sum \text{PCB } 28+52+101+153+138+180) \times 5$ (facteur 5 selon [UN-ECE, 1997]) et avec $2\,100\text{ m}^3$ de gaz résiduaires/t d'aggloméré ; données disponibles pour seulement 2 installations.

si une partie des poussières est mise en décharge (poussières issues du dernier champ du séparateur électrostatique)

si un système d'épuration fine est appliqué

valeur supérieure si les minerais de fer contiennent Hg en grande quantité

Tableau 4.1 : Consommations et productions fondées sur cinq installations d'agglomération de quatre États membres de l'UE différents (Autriche, Belgique, Allemagne et Pays-Bas)

Les données d'émission représentent les émissions atmosphériques après réduction de l'ensemble de l'installation d'agglomération (gaz résiduaires issus de la bande d'agglomération, du refroidisseur d'aggloméré, du dépoussiérage de l'atmosphère des locaux, etc.)

Aucune information n'est disponible concernant la détermination de données telles que les méthodes d'échantillonnage, les méthodes d'analyse, les intervalles de temps, les méthodes de calcul et les conditions de référence.

Le tableau 4.2 complète le tableau 4.1 et représente les facteurs d'émission dans l'atmosphère (après réduction) pour chacune des principales opérations d'une installation d'agglomération. Ce tableau indique les teneurs en SO_2 , NO_x , CO et composés organiques volatils des gaz résiduaires de certaines installations réparties dans l'UE. On notera que de grandes quantités de poussières peuvent être rejetées par les zones de décharge et les refroidisseurs d'aggloméré, en raison de techniques de réduction insuffisantes ou inexistantes [EC Study, 1996].

	poussières [g/t d'AL]	HF [g/t d'AL]	HCl [g/t d'AL]	SO₂ [g/t d'AL]	NO_x [g/t d'AL]	CO [g/t d'AL]	CO₂ [kg/t d'AL]	COV [g C/t d'AL]	PAH [mg/t d'AL] ^{*2}	PCDD/F [µg/t d'AL] ^{*3}	PCB [mg/t d'AL]
Installations d'agglomération											
- concassage / mélange	<5 ^{*5}	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.
- intervalle de bande d'agglomération ^{*4} (n° de donnée)	100-480 ^{*6} (23) 220±100	0,4-57(18)	23-95(9)	490-3 000(22) 1 100±600	75-1600(26) 550±310	7600-42 500(24) 23500±7300	n/d	50-150 ^{*11} (7) 108±36	n/d	1-10 ^{*3}	n/d
x ± s											
- zone de déchargement ^{*4}	10-270 ^{*7}	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.
- refroidissement de l'aggloméré ^{*4}	40-450 ^{*8}	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.
- atmosphère des locaux	- ^{*9}	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.
données provenant de 5 installations d'agglomération ^{*10}	voir Tableau 4.1 « Consommations et productions des installations d'agglomération »										

Légende : AL = acier liquide (acier brut) ; x ± s = valeur moyenne et déviation standard (calculée uniquement si des données suffisantes sont disponibles) ; n.p. = non pertinent ; n/d = non disponible

^{*1} facteurs de conversion utilisés (moyenne pondérée pour tous les hauts fourneaux et toutes les aciéries à l'oxygène européens) : 1 160 kg d'aggloméré/t de fonte brute ; 940 kg de fonte brute/t d'AL ; les facteurs d'émission pour les métaux lourds sont indiqués dans le tableau « Consommations et productions des installations d'agglomération »

^{*2} somme d'EPA 16, calculée d'après Borneff 6 (EPA 16 = Borneff 6 x 4) avec 2 100 Nm3 de gaz résiduaire/t d'aggloméré

^{*3} en [µg I-TEQ/t d'AL], d'après [LAI, 1995 ; Theobald 1, 1995 ; UN-ECE, 1997 ; LUA NRW, 1997]

^{*4} d'après [EC Study, 1996]

^{*5} d'après [EC Study, 1996], mais sans 10 % des chiffres les plus élevés et les plus bas (non raisonnables) et sans considérer les cyclones comme une technique de réduction pour laquelle les émissions sont bien plus élevées (facteur 2-4)

^{*6} calcul effectué d'après [EC Sinter/BF, 1995] avec 2 100 m3 de gaz résiduaire/t d'aggloméré et vérifié avec les données disponibles provenant des installations d'agglomération

^{*7} données provenant d'un seul site ; très souvent, les gaz résiduaire sont traités avec les autres flux, tels que les gaz résiduaire issus du dépoussiérage de l'atmosphère des locaux et les gaz résiduaire issus du refroidissement de l'aggloméré

^{*8} calcul effectué d'après [EC Sinter/BF, 1995] avec 2 100 m³ de gaz résiduaires/t d'aggloméré et vérifié avec les données disponibles provenant des installations d'agglomération ; le traitement des gaz résiduaires par les cyclones permettent d'atteindre des émissions comprises entre 100 et 450 g/t d'AL ; leur traitement par des filtres à manche fournit des valeurs bien plus faibles (entre 40 et 110 g/t d'AL)

^{*9} les gaz résiduaires issus du dépoussiérage de l'atmosphère des locaux sont très souvent traités avec les gaz résiduaires provenant d'autres opérations telles que le refroidissement de l'aggloméré et/ou la zone de décharge ou le criblage

^{*10} facteurs d'émission de 5 installations d'agglomération dans l'Europe des 15, y compris toutes les sources d'émission indiquées dans le Tableau 4.1 « Consommations et productions des installations d'agglomération »

^{*11} données additionnelles issues d'une installation d'agglomération allemande (11 mesures) selon [Dropsch, 1997]

Tableau 4.2 : Facteurs d'émissions atmosphériques (après réduction) pour chacune des opérations d'agglomération d'une installation d'agglomération *1

4.2.2 Information sur les différents flux d'émission

Comme indiqué précédemment, les émissions gazeuses des installations d'agglomération, et notamment de la bande d'agglomération, ont un impact environnemental considérable. Lorsque des techniques de réduction sont appliquées pour diminuer les émissions, des effets croisés peuvent apparaître.

Des informations détaillées sont données ci-dessous concernant à la fois les aspects énergétiques et les émissions dans l'atmosphère et dans l'eau, selon la structure suivante :

4.2.2.1 Informations détaillées sur les émissions dans l'atmosphère

- Émissions de particules issues du traitement, du concassage, du criblage et du transport de la charge d'alimentation et de l'aggloméré produit,
- Émissions de gaz résiduels issus de la bande d'agglomération,
- Émissions de particules lors du refroidissement de l'aggloméré.

4.2.2.2 Informations sur les émissions dans l'eau

- Eaux usées issues du traitement des gaz résiduels (en option),
- Eaux de refroidissement et de rinçage.

4.2.2.3 Informations sur les déchets solides

- Déchets solides issus du traitement des gaz résiduels (en option).

4.2.2.4 Informations sur les aspects énergétiques

- Demande énergétique.

4.2.2.1 Informations détaillées sur les émissions dans l'atmosphère

4.2.2.1.1 Émissions de particules issues du traitement, du concassage, du criblage et du transport de la charge d'alimentation et de l'aggloméré produit

Lors du traitement, du concassage, du criblage ou du transport de matières premières ou d'aggloméré, des émissions de particules sont rejetées.

Les émissions de particules issues du traitement, du concassage, du criblage ou du transport peuvent être réduites par des moyens d'élimination propre ou d'extraction et de stoppage.

4.2.2.1.2 Émissions de gaz résiduels issus de la bande d'agglomération

4.2.2.1.2.1 Général

Comme mentionné dans la partie 4.1.3, le flux spécifique de gaz résiduels est relativement élevé (entre 1 500 et 2 500 m³/t d'aggloméré). Le tableau 4.2 présente les informations concernant les gaz résiduels mélangés issus de la bande d'agglomération comme un tout. Bien que la composition des gaz résiduels extraits de chacune des boîtes à vent varie considérablement, certains facteurs caractéristiques sont reconnaissables. La figure 4.5 présente la teneur en CO₂, CO, O₂ et H₂O dans les gaz résiduels le long de la bande d'agglomération. Ces paramètres entrent également en interférence avec l'équilibre des différentes réactions. Des courbes caractéristiques sont aussi disponibles pour la

température et les teneurs en plomb, SO_2 , NO_x , PCDD/F (cf. figures 4.8 et 4.1.4), et probablement pour d'autres polluants. Actuellement, certains paramètres tels que CO, CO_2 , O_2 , H_2O , NO_x et SO_2 peuvent être calculés avec les modèles appropriés [Neuschütz, 1996].

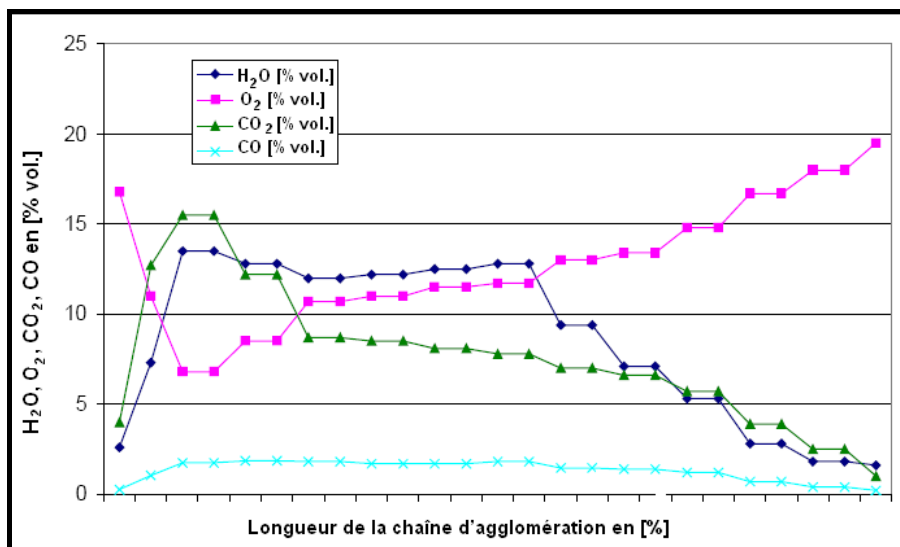


Figure 4.5 : Profil d'émission typique de CO_2 , CO, O_2 et H_2O dans les gaz résiduaux (boîtes à vent individuelles) le long de la bande d'agglomération – d'après [Neuschütz, 1996]

4.2.2.1.2.2 Poussières

L'analyse quantitative de la répartition granulométrique des poussières issues d'une bande d'agglomération avant réduction montre deux pics ; l'un au niveau des grosses poussières (taille de grain d'environ 100 μm) et l'autre au niveau des poussières fines (entre 0,1 et 1 μm) (Figure 4.6). Ce « mélange de poussières de deux composants » caractéristique peut s'expliquer par l'existence de deux procédés de formation des poussières.

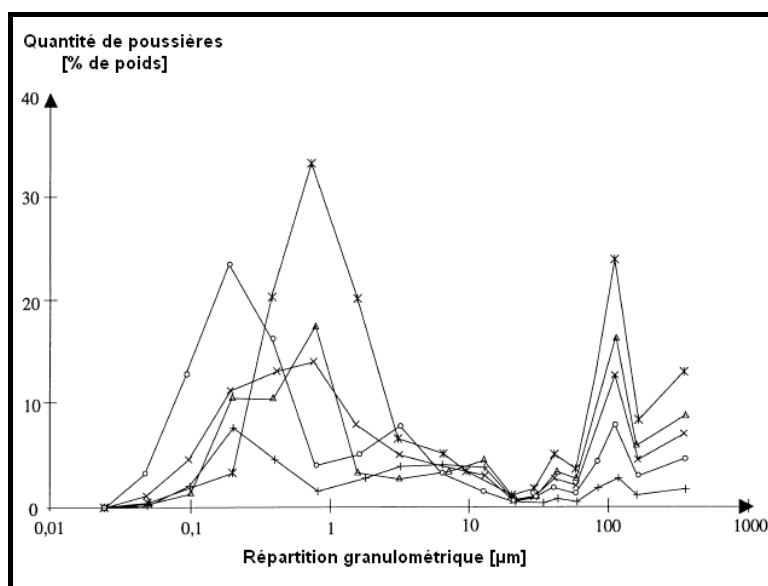


Figure 4.6 : Répartition par poids et taille des grains de poussière issus de différentes bandes d'agglomération – d'après [Bothe, 1993]

Les grosses poussières se forment au début de la bande d'agglomération et proviennent du combustible d'agglomération et de la couche inférieure, tandis que les poussières fines sont formées dans la zone d'agglomération après évaporation totale de l'eau présente dans le mélange. La composition des grosses poussières est liée à celle du combustible d'agglomération et peut être séparée de façon hautement efficace dans des séparateurs électrostatiques (ESP). Les poussières fines, en revanche, sont composées de chlorures alcalins et de plomb formés pendant le processus d'agglomération (voir partie 4.1.3). Les chlorures alcalins présentent une résistivité spécifique à la poussière élevée (entre 10^{12} et 10^{13} Ω cm) (Figure 4.7) et forment ainsi une couche isolante sur les électrodes. Cette couche entraîne de graves problèmes en termes d'élimination des poussières car elle réduit l'efficacité des séparateurs [Bothe, 1993 ; Gebert, 1995]. Selon [Bothe, 1993], les chlorures alcalins ne peuvent être éliminés que pour une efficacité moyenne de 60 %. Cela signifie qu'en raison de ces poussières fines, même les séparateurs électrostatiques conventionnels parfaitement conçus et développés ne peuvent atteindre des concentrations de poussières émises inférieures à 100 ou 150 mg/m^3 .

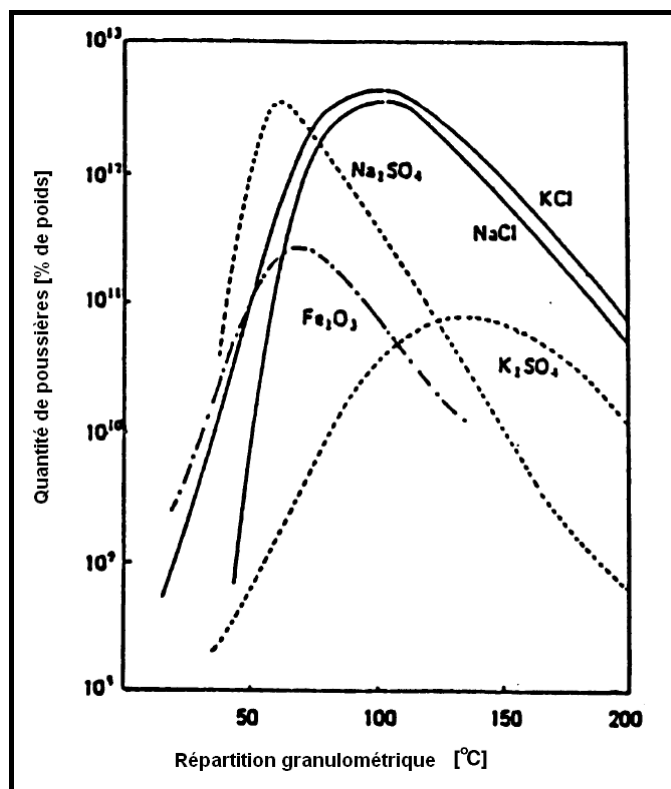


Figure 4.7 : Résistivité spécifique des poussières d'oxyde de fer, de chlorures alcalins et de sulfures – [Reiche, 1990]

Les chlorures de plomb ont un comportement similaire à celui des chlorures alcalins, d'où le niveau relativement élevé des émissions de plomb issues des bandes d'agglomération (cf. tableau 4.1).

Les émissions de poussières fines contribuent à relever les niveaux de poussières dans l'air ambiant et, au regard de la directive 96/61/CE du Conseil [EC Air, 1996] qui fixe des valeurs limites pour les

particules (PM 10), [EC LV, 1998], cela pourrait influencer des débats à venir concernant les émissions de poussières issues des installations d'agglomération.

4.2.2.1.2.3 Métaux lourds

Les émissions de métaux lourds issues des installations d'agglomération peuvent être très importantes, notamment pour le plomb (cf. figure 1.8).

Plomb

Au cours du processus d'agglomération, le plomb se transforme en PbO-PbCl_2 , en PbCl_2 et probablement en PbCl_4 . Ces composés du plomb sont relativement volatils et apparaissent sous leur forme gazeuse [Matzke, 1987]. Leurs propriétés (volatilité, taille des grains qui n'augmente pas, finesse des cristaux de PbCl_2) leur permettent d'atteindre des concentrations relativement élevées dans les gaz résiduels bruts (jusqu'à 70 mg Pb/Nm³, avec 2 100 Nm³/t d'aggloméré, 150 g Pb/t d'aggloméré). L'efficacité d'élimination des électrofiltres conventionnels et parfaitement conçus n'est pas suffisante pour les particules très fines. Par conséquent, d'importantes émissions de plomb de l'ordre du gramme de Pb/t d'aggloméré peuvent apparaître (cf. tableau 4.1). Les dépôts de feuilles sont la preuve que les concentrations de l'air ambiant dans la zone d'impact des installations d'agglomération peuvent être bien plus importantes par rapport au niveau général, même si les émissions sont réduites au minimum par l'utilisation de séparateurs électrostatiques conventionnels, ainsi que d'épurateurs-laveurs par voie humide hautement efficaces [UA-OÖ, 1998].

Le principal facteur de formation du chlorure de plomb n'est pas la concentration de plomb dans le combustible d'agglomération (valeur normale entre 40 et 100 g Pb/t de combustible d'agglomération), mais la concentration de chlorure (valeur normale entre 200 et 700 g Cl/t de combustible d'agglomération) [Matzke, 1987]. Des valeurs dix fois plus basses ont été relevées pour la teneur en chlorure [BS PCDD/F, 1998], ce qui peut être en corrélation avec la réduction des émissions de plomb.

Le profil d'émission des composés de plomb le long de la bande d'agglomération montre que le plomb se volatilise au cours des deux premiers tiers de la bande [Matzke, 1987].

Bon nombre d'installations d'agglomération en Europe sont exploitées selon des cycles fermés de filtration des poussières. Cela signifie que toutes les poussières précipitées dans les électrofiltres sont recyclées vers la bande d'agglomération. Comparés aux cycles partiellement ouverts de filtration des poussières (les poussières du dernier champ du séparateur électrostatique, composé principalement de chlorures alcalins et de métaux, sont mises en décharge), les installations disposant de cycles fermés ont des taux d'émission de chlorures alcalins et de métaux plus élevés [Matzke, 1987]. Il n'a pas été possible d'obtenir une quantification précise de ces effets croisés non négligeables.

En fonction de la teneur en fluorure du combustible d'agglomération, des fluorures de plomb peuvent se former. Ils sont encore plus volatils et contribuent également aux émissions générales de plomb.

Mercure

Le mercure apparaît sous sa forme gazeuse directement pendant le processus d'agglomération. Les niveaux d'émission dépendent de la teneur en mercure du combustible d'agglomération, mais ils sont généralement peu élevés. Dans le cas du minerai de fer, qui contient un volume important de mercure, les émissions sont considérables. Les valeurs d'émission relevées représentent alors environ 15 à 54 µg Hg/Nm³ ou 38 à 136 mg Hg/t d'aggloméré, lorsque des techniques de réduction telles qu'un électrofiltre conçu et fonctionnant correctement, associé au système d'épuration fine par voie humide, sont appliquées [Linz, 1996]. Ces valeurs ont été déterminées en 1994. De tels dégagements peuvent entraîner des concentrations environnementales bien supérieures (notamment en raison des dépôts sur

les feuilles des arbres) dans la zone d'impact d'une installation d'agglomération [UA-OÖ, 1998]. Toutefois, la concentration de mercure moyenne mesurée dans l'air ambiant représente entre 0,18 et 0,19 ng Hg/m³, ce qui est bien en dessous des normes prescrites.

Zinc

La teneur en zinc dans le combustible est normalement de l'ordre de 70 à 200 g Zn/t de combustible d'agglomération [Matzke, 1987]. Le zinc s'évapore à des températures élevées, dans les zones d'incinération, de calcination et d'oxydation (cf. figure 4.3), mais se transforme ensuite en ferrite de zinc qui reste dans l'aggloméré [Matzke, 1987] ou qui peut être éliminé à l'aide d'un électrofiltre conçu et fonctionnant correctement et présentant une efficacité élevée. La température pendant le procédé d'agglomération, qui est le plus souvent influencée par la teneur en coke dans le mélange, peut avoir une influence significative sur la volatilisation du zinc.

Dans les gaz bruts, le zinc peut être présent à hauteur de 50 mg Zn/Nm³ ou 100 g Zn/t sinter [Bothe, 1993]. Les gaz résiduaires traités peuvent contenir jusqu'à 1,65 g Zn/t d'aggloméré (cf. tableau 4.1), ce qui peut avoir un impact important sur l'environnement.

4.2.2.1.2.4 Chlorures alcalins

La teneur en alcali du combustible d'agglomération varie normalement de 600 à 1 000 g K₂O/t de combustible d'agglomération et de 250 à 500 g Na₂O/t de combustible d'agglomération [Matzke, 1987]. Dans certains cas, en fonction de la qualité du minerai, il est possible de mesurer jusqu'à 3 000 g K₂O/t de combustible d'agglomération. La formation de chlorures alcalins au cours du processus d'agglomération et leur impact négatif sur l'efficacité d'élimination des électrofiltres a été déjà été expliquée précédemment (voir la partie « Poussières »).

4.2.2.1.2.5 Oxydes de soufre (SO_x)

Les oxydes de soufre (le plus souvent SO₂) mesurés dans les gaz résiduaires proviennent de la combustion des composés de soufre présents dans le combustible d'agglomération. Ces composés de soufre sont introduits à l'origine dans le poussier de coke. La contribution du minerai de fer est normalement environ dix fois inférieure. La totalité de soufre entrant varie entre 0,28 et 0,81 kg/t d'aggloméré [InfoMil, 1997]. Les concentrations d'émission pour SO₂ sont normalement comprises entre 400 et 1 000 mg SO₂/Nm³ ou entre 800 et 2 000 g SO₂/t d'aggloméré (Tableau 4.1) [Bothe, 1993]. Ces valeurs représentent des concentrations moyennes de gaz résiduaires issus de la bande d'agglomération dans son ensemble. Toutefois, le profil d'émissions le long de la bande d'agglomération varie clairement, avec des différences considérables en termes de concentration de SO₂ dans chacune des boîtes à vent (Figure 4.8).

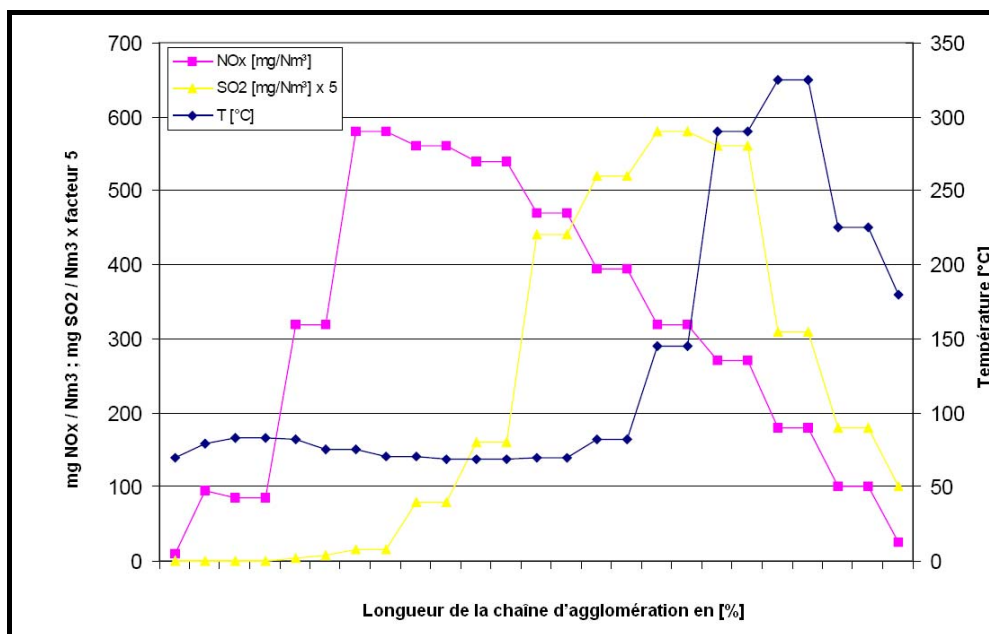


Figure 4.8 : Profil d'émission typique de SO₂ et de NO_x dans les gaz résiduaux (boîtes à vent individuelles) et courbe des températures le long de la bande d'agglomération – d'après [Neuschütz, 1996]

Au début de la bande d'agglomération, la teneur en SO₂ est faible. C'est seulement lorsque les températures atteignent un niveau élevé dans les couches inférieures du lit d'agglomération que les émissions augmentent de façon plus marquée. Les concentrations maximales apparaissent à la fin de la bande, avant que le refroidissement de l'aggloméré ne commence. Ce profil d'émission pourrait offrir la possibilité, si nécessaire, de ne traiter qu'une partie des gaz résiduaux.

Les émissions de SO₂ mentionnées précédemment sont atteintes en utilisant des matières premières présentant une faible teneur en soufre et en minimisant la consommation de combustible. Alors que dans les années 1980 une consommation de poussier de coke d'environ 80 kg/t d'aggloméré était courante, la consommation actuelle varie entre 38 et 55 kg/t d'aggloméré [Lüngen, 1991]. Outre la quantité de soufre entrant avec les matières premières, d'autres facteurs influencent la quantité de SO₂ émise, comme notamment le degré de présence du soufre dans l'aggloméré. Ce degré dépend de la basicité du combustible d'agglomération. Lorsque la basicité est inférieure ou égale à 1, plus de 90 % du soufre se volatilise. Ce pourcentage diminue lorsque la basicité dépasse 1,5 [Bothe, 1993]. Pour une basicité de 2, 80 à 90 % du soufre est libéré. En Allemagne, la basicité de l'aggloméré est passée à une moyenne de 1,7 depuis les années 1970, afin d'obtenir un lit de fusion autofondant ; cela est représentatif de l'Europe dans son ensemble (Figure 4.9). Une réduction des émissions de SO₂ a ainsi été possible, mais dans une faible mesure seulement. De plus, l'absorption du soufre par l'aggloméré présentant une basicité élevée n'est possible que lorsque du CaCO₃ est utilisé comme alcali, et non du MgCO₃ [Bothe, 1993].

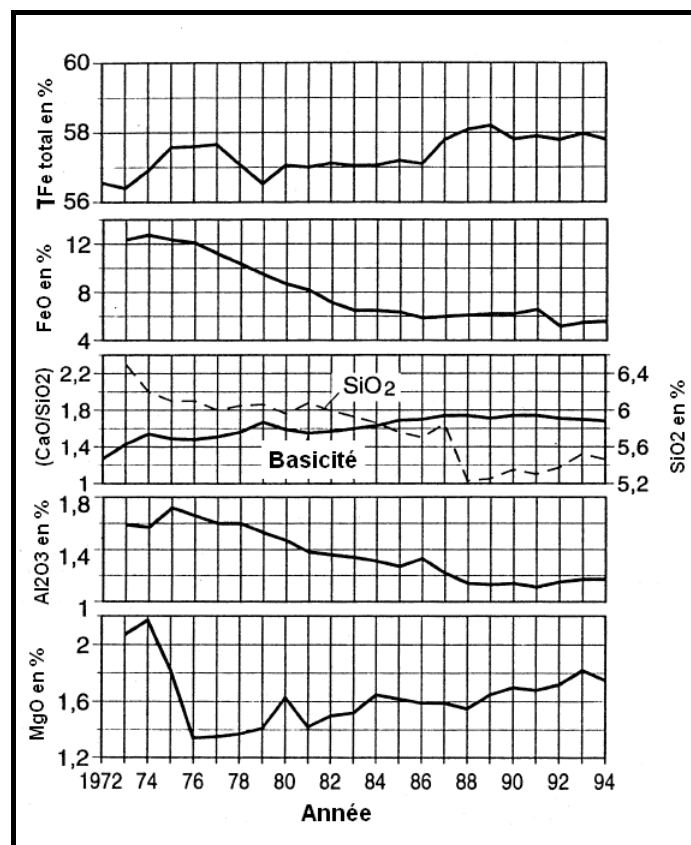


Figure 4.9 : Composition moyenne de l'aggloméré en Allemagne – [Stahl, 1995]

Le léger effet positif du CaCO_3 sur les émissions de SO_2 est neutralisé par ses effets négatifs issus de la résistivité spécifique croissante des poussières due à la basicité plus élevée qui entraîne la diminution de l'efficacité d'élimination des poussières dans l'électrofiltre (Figure 4.10).

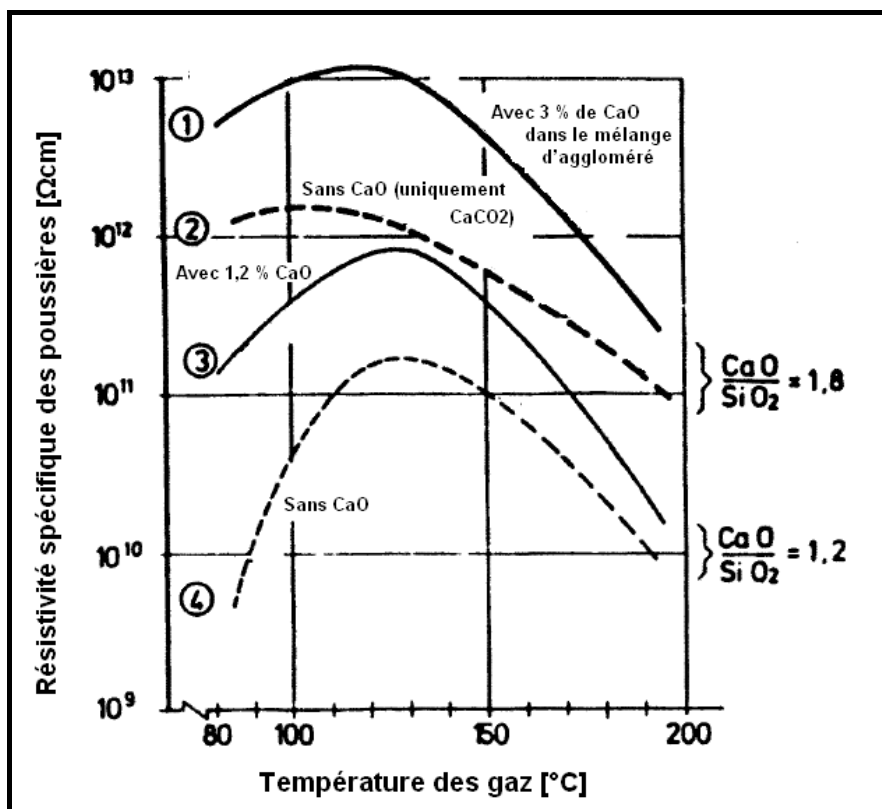


Figure 4.10 : Influence de la basicité de l'aggloméré (CaO/SiO_2) sur la résistivité spécifique des poussières – [Bothe, 1993]

La répartition granulométrique du poussier de coke a une influence significative sur les émissions de SO_2 . L'utilisation de poussier de coke de plus grosse taille (5 à 6 mm) au lieu de grains de taille normale (moins de 3 mm) peut réduire considérablement les émissions de SO_2 . Un exemple montre que des émissions de SO_2 d'environ $800 \text{ mg SO}_2/\text{Nm}^3$ provenant de poussier fin (1 mm) pouvaient passer à $500 \text{ mg SO}_2/\text{Nm}^3$ après avoir utilisé du poussier de coke plus gros (6 mm) [Beer, 1991].

4.2.2.1.2.6 Fluorures

Les émissions de fluorures dépendent à la base de la teneur en fluorure du minerai et de la basicité du combustible d'agglomération. Les minerais riches en phosphore contiennent une quantité importante de fluorure (entre 1 900 et 2 400 ppm). En Europe, ce type de minerai est particulièrement recherché et exporté de Suède (Kiruna D, Graengesberg) [Bothe, 1993]. Les émissions de fluorure dépendent fortement de la basicité du combustible d'agglomération (Figure 4.11). L'augmentation de la basicité du combustible d'agglomération (cf. figure 4.9) au cours des vingt dernières années a permis de réduire de façon significative les émissions de fluorure. Comme mentionné précédemment, la basicité élevée du combustible d'agglomération présente toutefois un inconvénient : la génération de poussières présentant une résistivité spécifique plus élevée (cf. figure 4.10). Selon le tableau 4.1, les émissions de fluorure sont comprises entre 1,3 et $3,2 \text{ g F/t}$ d'aggloméré ou (avec $2\,100 \text{ Nm}^3/\text{t}$ d'aggloméré) entre 0,6 et $1,5 \text{ mg F/Nm}^3$.

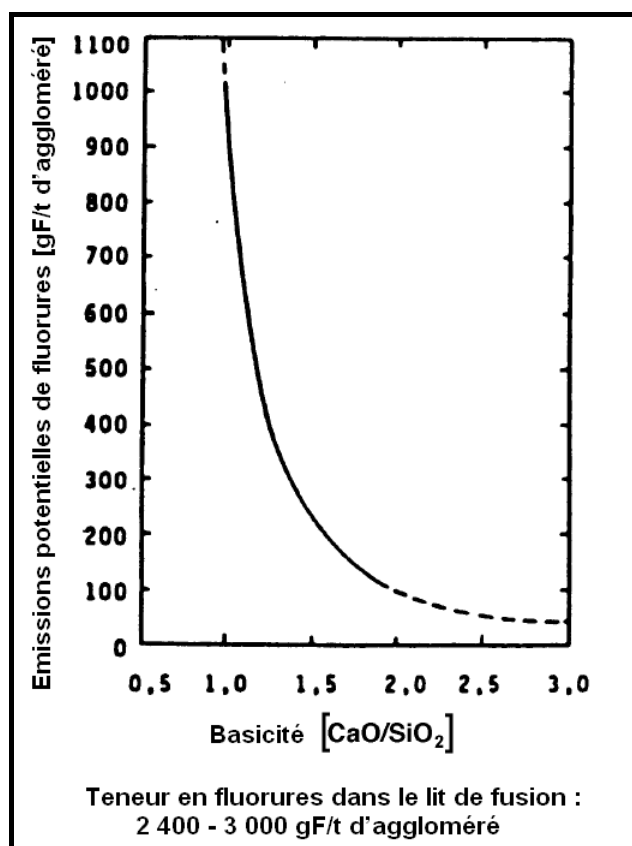


Figure 4.11 : Relation entre la basicité du combustible d'agglomération et les émissions de fluorures – [Bothe, 1993]

4.2.2.1.2.7 Oxydes d'azote (NO_x)

Les températures atteintes sous la flamme dans le lit d'agglomération sont la cause inhérente de la formation de NO_x . Ce NO_x peut se former de trois manières différentes : par la combustion de composés d'azote organiques dans le combustible d'agglomération (« NO_x combustible ») ; par la réaction des composés de désagrégation avec l'azote moléculaire (N_2) dans la zone de combustion (« NO_x instantané ») ; et par la réaction de l'oxygène moléculaire (O_2) avec l'azote moléculaire (N_2) dans l'air de combustion (« NO_x thermique »). Le NO_x combustible peut être le plus important, avec 80 % de l'ensemble, mais le NO_x thermique peut se placer en première position avec 60 à 70 % [InfoMil, 1997]. Le tableau 4.1 mentionne des facteurs d'émission de 400 à 650 g NO_x/t d'aggloméré, qui correspondent à des concentrations (avec 2 100 Nm^3/t d'aggloméré) de 200 à 310 mg NO_x/Nm^3 . Il indique également des concentrations d'émission de 700 mg NO_x/Nm^3 , liés directement à la teneur en azote dans les combustibles [Bothe, 1993].

Lorsque les concentrations de NO_x sont déterminées dans les boîtes à vent individuelles, il est possible que les émissions de NO_x ne soient pas réparties régulièrement le long de la bande d'agglomération. Toutefois, comparées aux concentrations de SO_2 , les différences ne sont pas significatives (Figure 4.8).

4.2.2.1.2.8 Hydrocarbures

Les émissions d'hydrocarbures sont généralement constituées de produits formés au cours de la pyrolyse et de la combustion incomplète des matières premières sous forme de coussinets de carbone. Les résidus recyclés, tels que les battitures (qui contient jusqu'à 10% d'huile [Gebert, 1995]) issues du processus de laminage sont la source principale d'émissions d'hydrocarbures issues des bandes d'agglomération [Gebert, 1995 ; Pütz, 1996]. La plupart des aciéries intégrées ont introduit des standards internes relatifs à la teneur en huile des résidus recyclés vers la bande d'agglomération (standards inférieurs à 0,1 %, à 0,5 % ou à 1 %) afin d'éviter les problèmes d'exploitation avec l'électrofiltre (calaminage, incandescence) et de réduire au minimum les émissions.

Les émissions d'hydrocarbures sont le résultat de l'évaporation qui a lieu avant que la zone d'oxydation et d'incinération (cf. figure 4.3) n'atteigne les couches inférieures du lit d'agglomération. Ces émissions contiennent du méthane, des composés aliphatiques, des phénols, des oléfines et des hydrocarbures aromatiques [Gebert, 1995 ; Bothe, 1993]. Les concentrations d'émission, mesurées avec un détecteur à ionisation de flamme, sont comprises entre 49 et 109 mg C/Nm³ (11 mesures, $x \pm s$: 66 \pm 18 mg C/Nm³) [Dropsch, 1997] et entre 20 et 90 mg C/Nm³ (32 mesures, $x \pm s$: 51 \pm 21 mg C/Nm³) [BS PCDD/F, 1998]. Ces émissions dépendent directement des matières premières consommées.

4.2.2.1.2.9 Polychlorodibenzo-para-dioxines et polychlorodibenzo-para-furannes (PCDD/F)

Récemment encore, on ne pensait pas que les installations d'agglomération pouvaient être une source considérable d'émission de PCDD/F [Broeker, 1993 ; Lahl, 1994]. Dans un cas, des concentrations d'émission jusqu'à 43 ng I-TEQ/Nm³ (analyse réitérée) ont pu être déterminées [Broeker, 1993]. Grâce au processus d'optimisation, notamment au niveau du contrôle des matériaux entrants, les concentrations d'émission réelles sont normalement comprises entre 0,5 et 5 ng I-TEQ/Nm³, ce qui représente (avec 2 100 Nm³/t d'aggloméré) entre 1 et 10 µg I-TEQ/t d'aggloméré [LAI, 1995 ; Theobald 1, 1995 ; UN-ECE, 1997 ; LUA NRW, 1997]. Ces concentrations et facteurs d'émission correspondent aux émissions après réduction, normalement atteintes à l'aide d'un électrofiltre à trois ou quatre champs.

Il n'existe aucune explication exhaustive pour les émissions de PCDD/F (quantités et répartition des matériaux homologues et congénères, mécanismes de formation, etc.). Les observations suivantes sont particulièrement importantes :

- Concernant les PCDD/F, les électrofiltres destinés au dépoussiérage primaire des installations d'agglomération n'obtiennent que de faibles taux de séparation. Cela est attesté par le fait que les profils de PCDD/F ne présentent aucun changement détectable ;
- La répartition des homologues et congénères de PCDD/F (profil PCDD/F) est similaire au « profil thermique des PCDD/F » [Pütz, 1996] avec un pourcentage plus élevé de tétra-CDF et de penta-CDF et, comparés aux PCDF, des profils de PCDD non différenciés avec une dispersion plus prononcée des homologues ;
- Les gaz résiduels des installations d'agglomération étudiés jusqu'à présent montrent seulement une faible dispersion des concentrations des groupes homologues de PCDD/F ;
- Les penta-CDF 2, 3, 4, 7 et 8 représentent de loin la plus grande proportion d'équivalents toxiques (entre 40 et 60 %) (Figure 4.12).

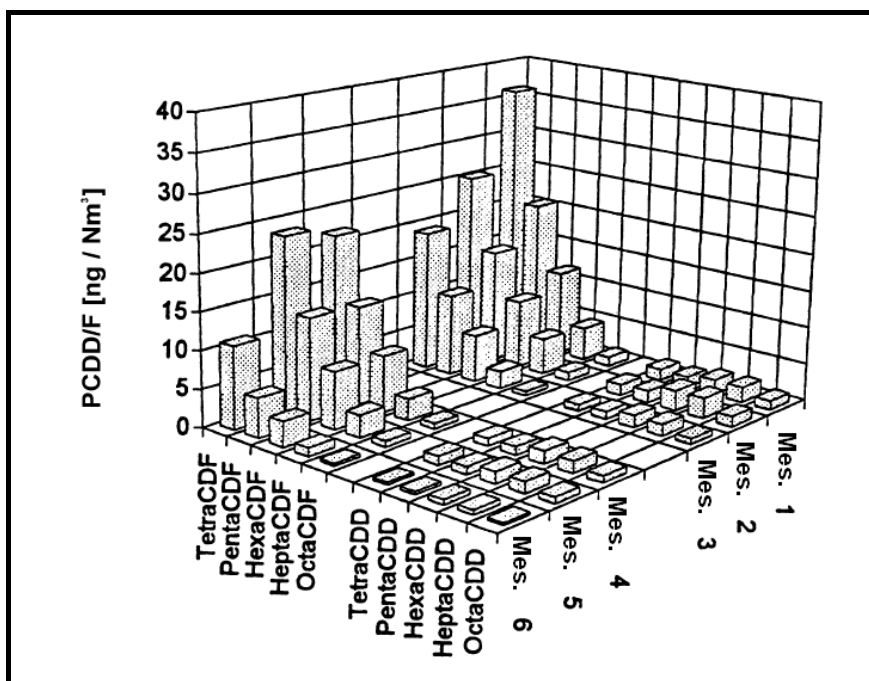


Figure 4.12 : Profil typique des groupes homologues des gaz résiduaux bruts d'une installation d'agglomération (avant réduction) pour 6 mesures – [Pütz, 1996]

Des investigations récentes ont montré que, pour la synthèse de novo, il existe deux précurseurs et voies de réaction complètement différents pour obtenir des PCDD et des PCDF. La synthèse de novo des PCDD à partir du carbone s'effectue, au moins partiellement, par le biais de la condensation d'anneaux de phényle intermédiaires, par exemple les phénols. En revanche, les réactions qui impliquent des composés simples de phényle ne jouent aucun rôle dans la synthèse de novo des PCDD à partir du carbone. Dans le cas des PCDF, les précurseurs présentent des structures biphényles préformées [Stieglitz, 1997].

Les PCDF sont les principaux composants des gaz résiduaux issus des installations d'agglomération, ce qui suppose que les précurseurs qui présentent une structure formée d'anneaux de phényle sont moins importants que la formation de PCDF à partir des structures solides de carbone et des chlorures inorganiques. Le carbone et les chlorures sont présents dans le combustible d'agglomération et ne peuvent donc pas limiter les facteurs de formation des PCDD/F. Cela ne suppose pas directement la corrélation positive entre les hydrocarbures volatils présents dans le combustible d'agglomération et la concentration de PCDD/F dans les gaz résiduaux [Gebert, 1995 ; Pütz, 1996]. Mais d'autres sources n'indiquent pas de corrélation évidente entre les émissions de PCDD/F et la teneur en hydrocarbures (volatils) contenue dans le combustible d'agglomération ou dans les gaz résiduaux (Figure 4.13).

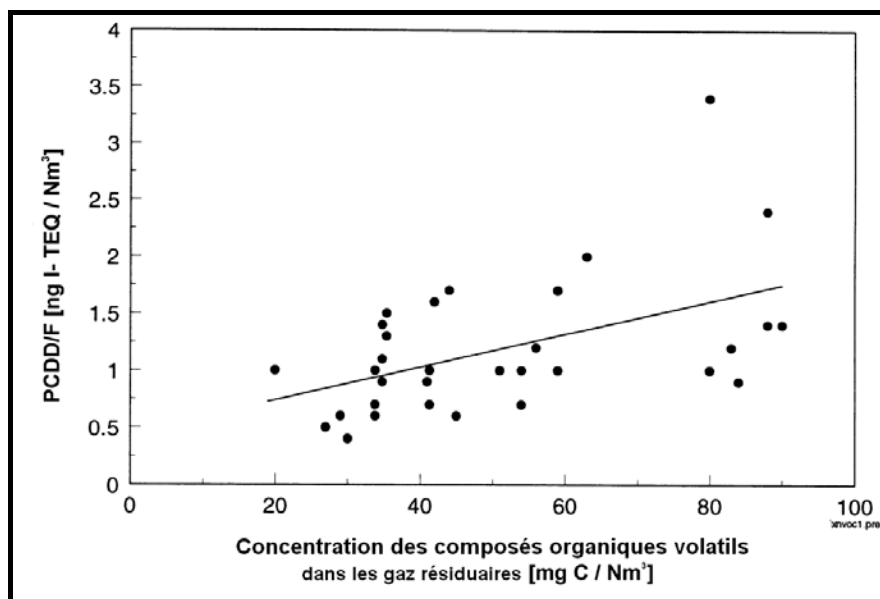


Figure 4.13 : Aucune corrélation visible entre la concentration de PCDD/F et la concentration des composés organiques volatils (mesures effectuées à l'aide d'un détecteur à ionisation de flamme) dans les gaz résiduaux d'une installation d'agglomération (coefficient de corrélation $r = 0,25$) – [BS PCDD/F, 1998]

Comme indiqué pour d'autres paramètres (cf. figure 4.5 et Figure 4.8), il existe également un profil d'émission le long de la bande d'agglomération pour les PCDD/F (Figure 4.14). Après évaporation totale de l'humidité, la température augmente (cf. figure 4.5) et semble être liée aux émissions de PCDD/F (cf. figure 4.14). Une explication possible à ces observations est que les PCDD/F sont formés dans les zones supérieures du lit d'agglomération, puis condensés en dessous sur un lit de fusion plus froid pour être enfin soumis à des réactions avant de se volatiliser à nouveau lorsque la zone de combustion (cf. figure 4.3) traverse le lit de fusion.

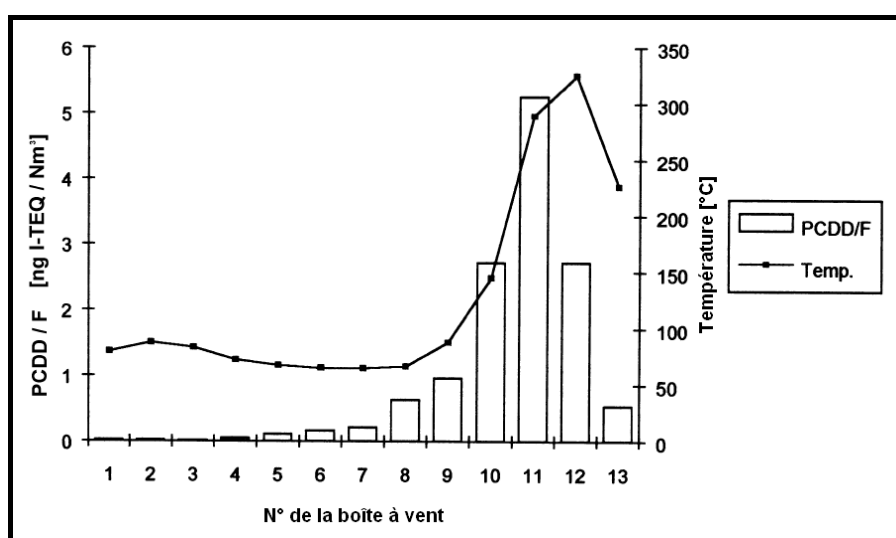


Figure 4.14 : Profil des PCDD/F et de la température dans les gaz résiduaux le long de la bande d'agglomération – [Pütz, 1996]

L'équilibre de Deacon ($2 \text{ HCl} + \frac{1}{2} \text{ O}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2$), qui tend vers le côté des chlorures lorsque la teneur en humidité diminue, peut être un autre facteur. Toutefois, l'influence de cette interaction reste peu claire.

Le profil différent des PCDD/F offre la possibilité de traiter la partie la plus concentrée des gaz résiduels.

4.2.2.1.2.10 Biphényles polychlorés (PCB)

Bien qu'il ait été affirmé pendant longtemps qu'il n'existait pas de synthèse de novo dans les processus thermiques, l'inverse a en fait pu être démontré [Blaha 1995 ; Hagenmaier, 1996 ; Scholz 1997]. Les PCB peuvent se former dans les mêmes conditions que celles décrites précédemment pour les PCDD/F. Toutefois, pendant le processus de formation, les anneaux de phényle ne sont pas condensés. Lors d'une réaction ultérieure, les PCB produits risquent de subir une cyclisation avec les PCDF, mais pas avec les PCDD [Scholz, 1997]. Ainsi, comme c'est le cas pour les PCDF, aucun précurseur aromatique n'est nécessaire à leur formation.

Les PCB peuvent également être présents dans les matières premières. Les concentrations de PCB mesurées dans le poussier de coke et dans les minerais de fer représentent entre 1 et 1,6 mg/t et les calculs limites pour une installation d'agglomération indiquent une présence potentielle de 850 µg/t d'aggloméré calibré [BS PCDD/F, 1998]. Il existe en tout état de cause une possibilité d'éliminer les PCB dans la zone de combustion (cf. figure 4.3), mais le processus de combustion n'est pas aussi intense que dans un incinérateur de déchets, par exemple, et il est peu pensable que tous les PCB présents dans l'air de process puissent être détruits dans la zone de combustion.

Par ailleurs, les PCB sont relativement volatils et risquent de s'échapper au moment du chauffage du lit de fusion par le biais des produits de combustion gazeux, avant qu'ils n'atteignent la zone de combustion [BS PCDD/F, 1998].

Des données concernant les émissions de PCB issues des installations d'agglomération ne sont disponibles que pour deux installations (cf. tableau 4.1). Leurs facteurs d'émission sont compris entre 1 et 12 mg Σ PCB/t d'aggloméré. Ce niveau de concentration est relativement élevé et peut avoir un impact élevé sur l'environnement.

4.2.2.1.2.11 Autres composés organohalogénés

La présence de PCDD/F et de PCB peut être considérée comme un indicateur de formation de composés organohalogénés tels que les chlorobenzènes, les chlorophénols, les chloronaphtalines, etc. [Stieglitz, 1997]. Ainsi, ces composés sont susceptibles d'être présents dans les gaz résiduels des installations d'agglomération.

4.2.2.1.2.12 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH)

Comme mentionné dans la partie 4.1.3, les réactions qui se produisent dans le lit de fusion sont complexes. Le processus de combustion est hétérogène et incomplet, ce qui entraîne la production d'une quantité importante d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH). Comme pour les PCB, les données concernant les émissions de PAH ne sont disponibles que pour quelques installations d'agglomération (cf. tableau 4.1). Les facteurs d'émission compris entre 105 et 840 mg Σ EPA16/t d'aggloméré sont le reflet de l'importance des émissions de PAH.

4.2.2.1.3 Émissions de particules issues du refroidisseur d'aggloméré

Après avoir atteint la fin de la grille d'agglomération, l'aggloméré produit est concassé, criblé et refroidi. Au cours de ces opérations, il existe des risques d'émission de poussières, dont la composition est pratiquement identique à celle de l'aggloméré. Lorsque l'air utilisé pour le refroidissement est réinjecté dans le processus afin d'utiliser la chaleur sensible, la poussière issue du criblage et du refroidissement de l'aggloméré est également réinjecté dans le processus.

Lorsque l'air n'est pas recyclé vers le processus, les émissions de particules sont généralement réduites par le biais d'un électrofiltre. Souvent, les gaz résiduels issus du refroidisseur sont traités avec les gaz résiduels issus de la zone de décharge. Les poussières séparées peuvent être recyclées vers le processus d'agglomération.

La réduction des poussières présentes dans les gaz résiduels issus du refroidissement de l'aggloméré et de la zone de décharge est souvent inexistante, alors que les émissions de poussières sont considérablement élevées (40 à 450 g/t d'aggloméré) [EC Study, 1996] et même comparables aux émissions de poussières issues de la bande d'agglomération (cf. tableau 4.2). Toutefois, la composition des poussières est différente de celle des poussières émises par la bande d'agglomération (notamment, pas ou très peu d'émissions de chlorures alcalins et de micropolluants organiques).

4.2.2.2 Informations sur les émissions dans l'eau

4.2.2.2.1 Eaux de rinçage

Le type de processus mis en œuvre dans une installation sidérurgique provoque de manière inhérente des dépôts de poussières sur les locaux de l'installation. Afin de prévenir tout rejet dans les eaux de surface, il conviendrait d'éliminer ces poussières, dans la mesure du possible par des techniques sèches. Quelques installations utilisent cependant des techniques de nettoyage des eaux de rinçage. Les eaux usées résultantes contiennent des particules matières en suspension (dont des métaux lourds) et sont généralement traitées avant d'être mises en décharge. Dans une installation d'aggloméré produisant environ 11 000 tonnes d'aggloméré par jour, par exemple, les eaux de rinçage atteignent un volume d'environ 460 m³/jour. Ces eaux usées sont traitées par le biais d'une sédimentation dans le circuit de recirculation et d'une décantation améliorée avant d'être mises en décharge [InfoMil, 1997]. Aucune données concernant d'autres installations ne sont disponibles.

4.2.2.2.2 Eaux de refroidissement

Dans l'installation d'agglomération, les eaux de refroidissement peuvent être utilisées pour refroidir les hottes d'allumage et les ventilateurs, ainsi que les machines d'agglomération. Dans une aciérie intégrée produisant 4 Mt d'acier par an, le refroidissement de l'installation d'agglomération nécessiterait un volume d'eau d'environ 600 m³ par heure [EC Haskoning, 1993]. Les eaux de refroidissement sont normalement entièrement recyclées.

4.2.2.2.3 Eaux usées issues du traitement des gaz résiduels

Le traitement des gaz résiduels ne génère des eaux usées que si un système de réduction par voie humide est utilisé. Les flux d'eau contiennent des matières en suspension (dont des métaux lourds), des composés organohalogénés tels que les PCDD/F et les PCB, les PAH, les composés de soufre, les fluorures et les chlorures. Ils sont généralement traités avant d'être mis en décharge. La

quantité et la qualité de ces eaux usées est décrite plus en détail dans la partie « Effets croisés » incluse dans la présentation des techniques correspondantes (voir EP.4).

4.2.2.3 Informations sur les déchets solides

En règle générale, tous les déchets solides issus d'une installation d'agglomération (poussières issues des appareils de dépoussiérage et de tamisage) sont recyclés vers la bande d'agglomération. Il existe toutefois deux exceptions : la première concerne les boues issues des systèmes de traitement des gaz résiduels par voie humide, qui sont mises en décharge. Actuellement, seules deux installations fonctionnent avec un tel système en Europe. La seconde exception concerne les poussières filtrées issues du dernier champ du séparateur électrostatique (ESP). Comme nous l'avons vu dans la partie 4.2.2.1.2.3, la plupart des installations d'agglomération en Europe sont exploitées selon des cycles entièrement fermés de filtration des poussières [Bothe, 1993]. Toutefois, certaines installations excluent les poussières fines du dernier champ de l'électrofiltre. Ces poussières contiennent principalement des chlorures alcalins et métalliques. Ce cycle de filtration des poussières dit « partiellement ouvert » est mis en œuvre afin d'améliorer le fonctionnement de l'électrofiltre ou (dans certains cas) du filtre à manche, ou de réduire les émissions de chlorures alcalins et métalliques.

4.2.2.4 Informations sur les aspects énergétiques

L'enquête du Comité européen des hauts fourneaux menée sur les données d'exploitation des installations d'agglomération (1996) a montré que les installations d'agglomération utilisent entre 1 125 et 1 920 MJ d'énergie thermique par tonne d'aggloméré (combustibles solides, poussières de gaz et combustible d'allumage compris), avec une consommation moyenne de 1 480 MJ/t d'aggloméré. Cela correspond à un poids d'équivalents de poussier de coke compris entre 39,5 et 67 kg/t d'aggloméré, avec un poids moyen de 52 kg d'équivalents de poussier de coke par tonne d'aggloméré. La consommation totale d'électricité varie entre 68 et 176 MJ/t d'aggloméré, avec une consommation moyenne de 105 MJ/t d'aggloméré. La différence de consommation entre l'aggloméré de faible basicité (inférieure à 1,7 CaO/SiO₂) et l'aggloméré de basicité plus élevée (supérieure ou égale à 1,7 CaO/SiO₂) est extrêmement faible.

Le tableau 4.1 présente les données de cinq installations d'agglomération auxquelles ces chiffres correspondent. Le coke est la principale source d'énergie dans l'installation d'agglomération (environ 85 %), l'électricité et le gaz (gaz de four à coke et/ou gaz de haut fourneau et/ou gaz naturel) constituant à part égale les autres sources. L'agglomération génère elle-même des sources d'énergie, principalement via les gaz résiduels, l'évaporation de l'eau, l'énergie de réaction requise et l'aggloméré lui-même. Le refroidissement de l'aggloméré est souvent combiné avec la récupération de la chaleur sensible.

4.2.2.5 Informations sur les émissions sonores

Les sources de bruit suivantes sont dominantes dans les installations d'agglomération :

- ventilateurs des gaz résiduels de l'agglomération,
- ventilateurs du refroidisseur d'aggloméré.

4.3 Techniques à prendre en compte lors de la détermination des MTD

Cette partie s'intéresse à la fois aux techniques intégrées au processus et aux techniques appliquées en fin de process dont l'objectif est la protection de l'environnement et l'économie d'énergie dans les installations d'agglomération. Elle fournit une description de chacune des techniques, les principaux niveaux d'émission atteints, l'applicabilité des techniques, le contrôle des émissions, les effets croisés, les installations de référence, les données opérationnelles, les aspects économiques, ainsi que les éléments moteurs de la mise en œuvre des techniques, dans les cas où des informations importantes sont disponibles et pertinentes.

4.3.1 Techniques intégrées au process (liste)

Les techniques intégrées au procédé qui suivent sont utilisées dans les installations d'agglomération :

- PI.1 Optimisation du procédé industriel pour la réduction au minimum des émissions de PCDD/F
- PI.2 Recyclage des déchets ferreux vers l'installation d'agglomération
- PI.3 Réduction de la teneur en hydrocarbures volatiles dans le combustible d'agglomération
- PI.4 Réduction de la teneur en soufre dans le combustible d'agglomération
- PI.5 Récupération de la chaleur produite lors de l'agglomération et du refroidissement de l'aggloméré
- PI.6 Agglomération de la couche supérieure
- PI.7 Recirculation des gaz résiduels, p. ex. procédé EOS (optimisation des émissions d'agglomération)
- PI.8 Recirculation des gaz résiduels par section

4.3.2 Techniques appliquées en fin de process (liste)

Les techniques appliquées en fin de process suivantes sont utilisées dans les installations d'agglomération :

- EP.1 Séparateur électrostatique (ESP)
- EP.2 Système de filtre en tissu
- EP.3 Cyclone
- EP.4 Epurateur-laveur par voie humide, p. ex. Airfine
- EP.5 Désulfuration par voie humide
- EP.6 Régénération au charbon actif (RAC)
- EP.7 Réduction catalytique sélective (SCR)

4.3.3 Techniques intégrées au process (détail)

PI.1 Optimisation du processus pour la réduction au minimum des émissions de PCDD/F

Description : Des recherches approfondies sur la formation des polychlorodibenzo-para-dioxines et des polychlorodibenzo-para-furannes (PCDD/F) au cours du processus d'agglomération [BS PCDD/F, 1998] ont montré que les PCDD/F sont formés dans le lit d'agglomération même, probablement juste sous la flamme, au moment où les gaz chauds traversent le lit (voir partie 4.2.2.1.2.9). Il a également été montré que des perturbations au niveau de la propagation de la flamme, p. ex. lors d'opérations non stables, entraînent une augmentation des émissions de PCDD/F. Par conséquent, il a été proposé de piloter la chaîne d'agglomération d'une manière aussi constante que possible en ce qui concerne la vitesse de bande, la composition du lit d'agglomération (notamment le mélange permanent de matériaux récupérés afin de réduire au minimum l'introduction de chlorures), la hauteur du lit d'agglomération, l'utilisation d'additifs tels que la chaux vive, le maintien de la teneur des battitures en huile à un niveau régulièrement inférieur à 1 % et enfin l'étanchéité à l'air de la bande d'agglomération, des gaines et de l'électrofiltre afin de réduire au minimum, dans la mesure du possible, le volume d'air entrant. Cela a permis d'améliorer la performance opérationnelle (productivité, qualité de l'aggloméré).

Principaux niveaux d'émission atteints : Une moyenne d'1,0 ng I-TEQ/Nm³ a été obtenue à partir d'un total de 41 échantillons prélevés dans quatre sites au Royaume-Uni. Les valeurs varient généralement entre 0,5 et 1,5 ng I-TEQ/Nm³, bien que la majorité des échantillons soit proche de 1,0 ng I-TEQ/Nm³. Les échantillons ont été obtenus par la méthode américaine EPA 23. L'analyse des PCDD/F est menée dans des laboratoires de substances organiques à l'état de trace homologués. Les résultats détaillés sont présentés dans le Tableau 4.3. Toutefois, ces valeurs extrêmement basses ne sont pas atteintes dans certaines installations d'autres Etats membres de l'UE disposant des mêmes conditions d'exploitation ou de conditions très similaires. En Allemagne, les valeurs généralement atteintes varient entre 2 et 3 ng I-TEQ/Nm³. Une installation a même fourni des valeurs comprises entre 5 et 6 ng I-TEQ/Nm³.

Aucune mesure spécifique n'a pu être identifiée afin de permettre d'atteindre des niveaux d'émission de PCDD/F relativement bas, alors qu'il pourrait s'agir de la combinaison d'un certain nombre de mesures mentionnées précédemment.

Applicabilité : Peut être appliqué aux installations nouvelles et aux installations déjà existantes.

Effets croisés : L'utilisation de l'énergie est réduite au minimum par le biais d'opérations homogènes. Il n'existe aucun effet croisé négatif.

Installations de référence : British Steel Scunthorpe, British Steel Teesside, British Steel Port Talbot, British Steel Llanwern (2 installations).

D'autres installations d'agglomération dans l'UE sont exploitées de façon similaire. Certaines sont capables de confirmer les niveaux d'émission peu élevés (entre 0,5 et 1,5 ng I-TEQ/Nm³), mais d'autres obtiennent des concentrations bien plus élevées, qui peuvent varier entre 5 et 6 ng I-TEQ/Nm³.

Données opérationnelles : L'optimisation du processus peut déboucher sur une amélioration des performances d'exploitation en termes de productivité et de qualité de l'aggloméré, qui se maintiennent en permanence à des niveaux élevés.

Aspects économiques : Le système n'entraîne aucun coût d'installation, mais des bénéfices d'exploitation liés à l'homogénéité des opérations.

Documents de référence : [BS PCDD/F, 1998]

British Steel Teesside (Redcar)		British Steel Scunthorpe		British Steel Port Talbot		British Steel Llanwern			
						Bande B		Bande C	
Date de l'échantillon	PCDD/F [ng I- TEQ/Nm ³]	Date de l'échantillon	PCDD/F [ng I- TEQ/Nm ³]	Date de l'échantillon	PCDD/F [ng I- TEQ/Nm ³]	Date de l'échantillon	PCDD/F [ng I- TEQ/Nm ³]	Date de l'échantillon	PCDD/F [ng I- TEQ/Nm ³]
08/03/95	1,0	20/02/95	0,6	24/02/95	1,6	09/04/97	1,6	11/04/95	1,0
09/03/95	1,7	20/02/95	0,7	24/02/95	0,9	10/04/97	1,3	11/04/95	0,4
26/04/95	0,7	20/02/95	1,0	24/02/95	0,6	11/04/97	1,1	12/04/95	0,6
26/04/95	0,9	06/07/95	1,1	19/04/95	1,0	11/04/97	1,0	12/04/95	0,5
27/04/95	0,9	06/07/95	1,4	19/04/95	0,7			09/06/95	1,4
27/04/95	1,2	06/07/95	1,1	20/04/95	1,0				
17/12/96	1,0	06/07/95	0,9	20/04/95	1,2				
17/12/96	1,0	17/05/96	1,5						
20/07/98	0,6	17/05/96	1,3						
21/07/98	0,6	18/05/96	1,3						
21/07/98	1,5	30/06/97	1,5						
		04/08/98	1,2						
		04/08/98	0,3						
		04/08/98	0,8						
Intervalle : 0,6-1,7		Intervalle : 0,3-1,5		Intervalle : 0,6-1,6		Intervalle : 1,0-1,6		Intervalle : 0,4-1,4	
Moyenne : 1,0 (n=11)		Moyenne : 1,1 (n=14)		Moyenne : 1,0 (n=7)		Moyenne : 1,25 (n=4)		Moyenne : 0,8 (n=5)	

Tableau 4.3 : Émissions de PCDD/F provenant de cinq installations d'agglomération après optimisation du processus (afin de réduire au minimum les émissions de PCDD/F)

PI.2 Recyclage des déchets ferreux vers l'installation d'agglomération

Description : Une aciérie intégrée produit des sous-produits, principalement constitués de battitures de fer provenant de laminaires et d'une grande variété de poussières et de boues provenant des appareils de traitement des gaz résiduels. Même si ces poussières, boues et battitures présentent une teneur en fer ou en carbone suffisamment importante (généralement supérieure à 50 %), ils ne peuvent être utilisés comme des matières premières dans l'installation d'agglomération. Les matériaux qui présentent une forte teneur en chaux, tels que les laitiers d'acier, peuvent être acceptés, afin de réduire les apports de chaux. Actuellement, presque toutes les installations d'agglomération dans le monde recyclent les poussières, les boues et les battitures. Dans la plupart des installations, elles représentent 10 à 20 % du combustible d'agglomération. Il existe une installation qui utilise 100 % des poussières, des boues, des laitiers et des additifs.

Principaux niveaux d'émission atteints : Le volume de matières premières économisées est égal au volume des boues, des poussières et des battitures utilisées. Par ailleurs, l'enfouissement de ces sous-produits doit être évité. En ce sens, l'installation d'agglomération joue un rôle essentiel dans une aciérie intégrée.

Applicabilité : Peut être appliqué aux installations nouvelles et aux installations déjà existantes.

Effets croisés : Certains sous-produits présentent une teneur en huile importante, ce qui peut entraîner des émissions d'hydrocarbures et (éventuellement) de PCDD/F élevées. Par ailleurs, des composés indésirables (alcalis, chlorures) risquent de s'accumuler suite au recyclage et de provoquer une augmentation des émissions de gaz résiduels. Pour respecter les limites d'émission existantes, il peut être nécessaire d'installer de meilleurs équipements de réduction (p. ex. des filtres en tissu ou des techniques améliorées ou avancées de précipitation électrostatique). Cela aurait une influence considérable sur la génération de poussières et sur l'aspect économique [UBA Comments, 1997].

Installations de référence : (Presque) toutes les installations d'agglomération dans le monde recyclent les boues, les poussières et les battitures, notamment l'installation d'agglomération Warren Consolidated Industries, Youngstown Sinter Company, Warren, Ohio, Etats-Unis. En 1992, cette installation utilisait uniquement des poussières, des boues et des battitures ferreuses comme source de fer pour son installation d'agglomération.

Données opérationnelles : L'exploitation du système sans aucune perturbation est possible.

Aspects économiques : Permet d'économiser les coûts des matières premières et évite les coûts d'enfouissement ou de traitement des déchets.

Moteurs de la mise en œuvre : Dans de nombreux cas, les possibilités de mise en décharge des résidus et des sous-produits sur les espaces réservés sont limitées. De plus, les coûts élevés (les taxes de mise en décharge correspondent à des normes strictes), ainsi que les obligations légales sont les principaux moteurs de la mise en œuvre de mesures d'optimisation du recyclage.

Documents de référence : [InfoMil, 1997 ; Rentz, 1996]

PI.3 Réduction de la teneur en hydrocarbures volatiles dans le combustible d'agglomération

Description : Les apports d'hydrocarbures peuvent être réduits au minimum, notamment grâce à la réduction de l'apport d'huile et à la suppression de l'anthracite. L'huile entre dans le combustible d'agglomération principalement lors de l'addition des battitures. La teneur en huile des battitures peut présenter des variations importantes en fonction de leur origine. Parfois, la teneur en huile peut atteindre 10 % [Gebert, 1995].

Il est préférable, pour diverses raisons (risque d'incendie et de calaminage dans l'électrofiltre ou le filtre en tissu), d'avoir de faibles teneurs en huile dans les poussières et les battitures recyclées. Une forte teneur en huile peut également entraîner une élévation des émissions de PCDD/F (voir partie 4.2.2.1.2.8). De faibles teneurs en huile permettent également de réduire les émissions de composés organiques volatiles.

La plupart des hydrocarbures huileux quittent le mélange d'agglomération sous forme gazeuse à des températures comprises entre 100 et 800 °C et sont émises de l'installation d'agglomération par les gaz résiduels.

Deux « techniques » peuvent être appliquées pour réduire au minimum les apports d'huile via les poussières et les battitures :

1. Limiter l'apport d'huile en sélectionnant uniquement les poussières et les battitures présentant une faible teneur en huile. L'utilisation de techniques de « bon entretien des locaux » dans les laminoirs peut permettre une réduction significative de la teneur en huile des battitures.
2. Déshuilage des battitures. Deux méthodes sont généralement développées et appliquées :
 - a. En chauffant les battitures à environ 800 °C, les hydrocarbures huileux s'évaporent pour laisser des battitures « propre ». Les hydrocarbures volatilisés peuvent être incinérés.
 - b. En extrayant l'huile des battitures à l'aide d'un solvant.

Aucune de ces techniques de traitement n'est actuellement utilisée de façon commerciale dans l'industrie sidérurgique de l'UE.

Dans l'UE, le poussier de coke est généralement utilisé comme combustible pour le processus d'agglomération. Toutefois, certaines installations utilisent encore un mélange de poussier de coke et d'anthracite, ce qui conduit à des émissions d'hydrocarbures bien plus élevées en raison des effets dégraissants. Cela peut être évité par une utilisation exclusive de poussier de coke.

Applicabilité : Peut être appliqué aux installations nouvelles et aux installations déjà existantes.

Principaux niveaux d'émission atteints : Des concentrations d'hydrocarbures substitués inférieures à 20 mg/Nm³ peuvent être atteintes. Les chiffres peuvent être bien plus élevés si des mesures de précaution ne sont pas prises pour réduire la teneur en huile des matériaux combustibles d'agglomération et/ou si l'anthracite est également utilisé comme combustible.

Effets croisés : Lorsque certains déchets ferreux ne sont pas considérés comme des charges adaptées pour l'installation d'agglomération et recyclés comme tels, ils entrent dans le flux des déchets et sont soit traités d'une autre façon, soit mis en décharge. Or, de cette façon, les émissions risquent en réalité d'être transférées vers un autre site.

À chaque déshuilage des battitures, de l'énergie est consommée au moment du chauffage. Les hydrocarbures volatilisés doivent faire l'objet d'une combustion correcte (méthode empirique : température supérieure à 850 °C pendant plus de 2 secondes pour une teneur en O₂ de plus de 6 %).

Installations de référence : De nombreuses installations contrôlent les apports d'huile dans l'installation d'agglomération grâce aux déchets ferreux, notamment celles équipées d'un électrofiltre ou d'un filtre en tissu. Dans la plupart des installations d'agglomération de l'UE, l'anhracite n'est pas utilisé comme combustible.

À Mülheim-Ruhr, Thyssen Altwert Umweltservice GmbH a mis en œuvre un processus de démonstration utilisant un four rotatif pour le déshuilage des battitures avec une capacité de 15 000 t/an. Plusieurs aciéries allemandes (Thyssen Stahl AG) ont lancé des tests pilotes avec différents processus [UBA Comments, 1997].

Données opérationnelles : Dans l'installation Inland Steel, Indiana Harbor Works, East Chicago, Etats-Unis, l'apport maximal d'huile est limité à 0,3 kg/t d'aggloméré. Le déshuilage est appliqué chaque fois qu'une teneur trop élevée en hydrocarbures est mesurée. Toutefois, nous ne savons pas si ce système est encore en exploitation. L'installation d'agglomération est équipée d'un filtre en tissu.

Une installation de déshuilage des battitures a été installée à Nippon Kokan, Keihin Works et à Nippon Steel Corporation, Wakamatsu/Yawata Works, Japon. [InfoMil, 1997] rapporte que la NSC, Yawata Works n'exploite pas cette installation de déshuilage car la teneur en huile des matières premières est régulée de telle sorte que tout risque d'incendie est évité dans l'électrofiltre.

Dans l'installation Kobe Steel, Kakogawa Works, Japon, la concentration d'hydrocarbures dans l'électrofiltre est maintenue à moins d'1 % grâce à la réduction des battitures dans l'installation d'agglomération (maxi. 3 %).

Aspects économiques : Aucune donnée disponible concernant le déshuilage ; l'utilisation de mélanges de coke et d'anhracite est moins chère que l'utilisation exclusive de coke, mais aucun chiffre précis n'est disponible.

Documents de référence : [Gebert, 1995 ; UBA Comments, 1997 ; InfoMil, 1997]

PI.4 Réduction de la teneur en soufre dans le combustible d'agglomération

Description : Les composés de soufre entrent essentiellement dans le processus d'agglomération par le biais des minerais et du poussier de coke (voir partie 4.2.2.1.2.5), les minerais représentant un pourcentage bien plus faible que le poussier. Une partie du soufre reste dans le produit aggloméré (environ 13 à 25 %), en fonction de la basicité de l'aggloméré et de la répartition granulométrique (voir partie 4.2.2.1.2.5). Par conséquent, l'utilisation de poussier de coke et de minerais de fer à faible teneur en soufre ($\leq 0,8 \text{ \% S}$) est directement liée à la réduction des émissions de SO_2 . Toutefois, il est très important de réduire au minimum la consommation spécifique de poussier de coke. Au cours des 15 dernières années, la consommation de plusieurs installations d'agglomération dans l'UE est passée d'environ 80 kg/t d'aggloméré à une moyenne de 38 à 55 kg/t d'aggloméré (voir Tableau 4.1 et [Bothe, 1993]).

De plus, l'utilisation de poussier de coke plus gros (6 mm) permet une réduction significative des émissions de SO_2 , en comparaison avec du poussier à grains fins (1 mm). Il a ainsi été possible de mesurer des réductions passant de près de 800 mg SO_2/Nm^3 à environ 500 mg SO_2/Nm^3 [Beer, 1991].

Principaux niveaux d'émission atteints : Le Tableau 4.1 et le Tableau 4.2 indiquent que des facteurs d'émission inférieurs à 1 kg SO_2/t d'aggloméré ou (avec 2 100 Nm^3/t d'aggloméré) que des concentrations d'émission inférieures à 500 mg SO_2/Nm^3 peuvent être atteints.

Applicabilité : Il est possible de réduire au minimum le soufre dans le combustible d'agglomération (utilisation de poussier de coke et de minerai de fer à faible teneur en soufre et réduction au minimum de la consommation spécifique de poussier de coke) aussi bien pour les installations nouvelles que pour les installations déjà existantes. Il convient toutefois de noter que, en raison de leur faible disponibilité, l'approvisionnement en poussier et en minerai à faible teneur en soufre peut s'avérer contraignant.

Effets croisés : Aucun effet croisé n'est connu, mais la rétention de soufre additionnel dans l'aggloméré pourrait avoir un effet contraire sur l'exploitation des hauts fourneaux alors que du fer à faible teneur en soufre est requis.

Installations de référence :

- 1) Installation d'agglomération, Nippon Steel Corporation, Yawata/Wakamatsu Works : utilisation de poussier de coke à faible teneur en soufre
- 2) Installation d'agglomération 4, Sumitomo Metal Industries, Wakayama Works
- 3) Installation d'agglomération de Sidmar, B-Gent

Données opérationnelles : Aucun problème spécifique connu. L'installation fonctionne parfaitement.

Aspects économiques : Données non disponibles

Documents de référence : [Bothe, 1993]

PI.5 Récupération de la chaleur produite lors de l'agglomération et du refroidissement de l'aggloméré

Description : Deux types d'énergie résiduaire potentiellement réutilisable sont rejetés par l'installation d'agglomération : la chaleur sensible issue des principaux gaz de fumées qui proviennent des machines d'agglomération et la chaleur sensible de l'air de refroidissement issu du refroidisseur d'aggloméré.

La chaleur sensible issue des gaz de fumées présents dans la cheminée peut être utilisée à l'aide d'un échangeur thermique. Les économies d'énergie ne sont pas spécifiées. La recirculation des gaz résiduaires est un cas spécial de récupération de la chaleur. La chaleur sensible est transférée directement vers le lit d'agglomération par les gaz chauds en recirculation. Il s'agit actuellement de la seule méthode pratique de récupération de la chaleur issue des gaz résiduaires.

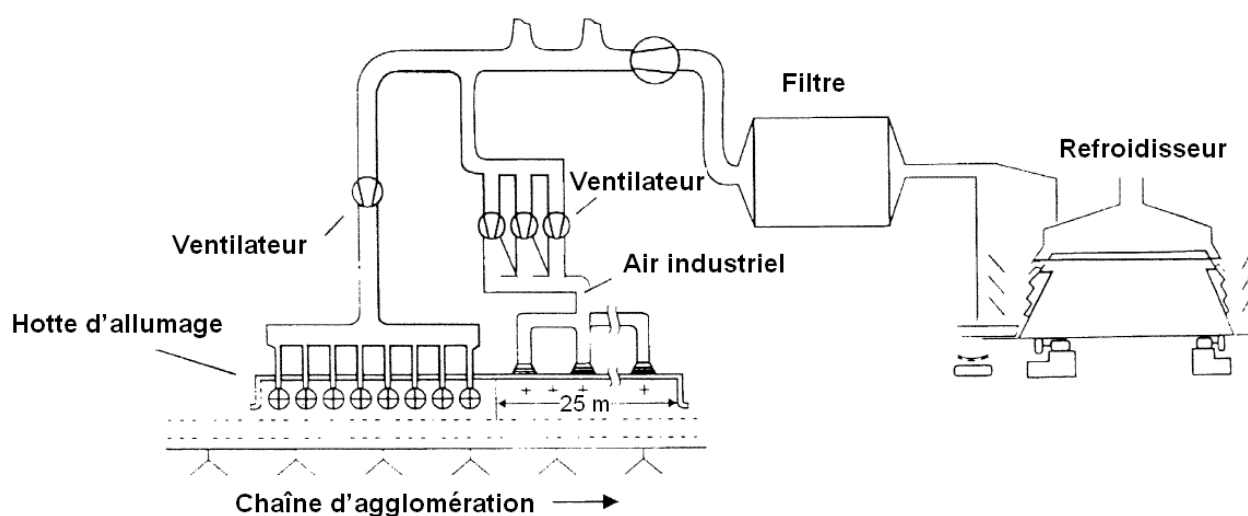


Figure 4.15 : Récupération de la chaleur issue de l'air de refroidissement du refroidisseur d'aggloméré – [Beer, 1991]

La chaleur sensible présente dans l'air chaud du refroidisseur d'aggloméré est obtenue par un ou plusieurs moyens suivants :

- génération de vapeur dans la chaudière à chaleur résiduaire,
- préchauffage de l'air de combustion dans la hotte d'allumage ; p. ex. Figure 4.15,
- préchauffage du combustible vert.

Le volume de chaleur résiduaire récupérée peut varier selon la conception de l'installation d'agglomération et le système de récupération de la chaleur.

Voici quelques exemples de récupération de la chaleur :

- Récupération de la chaleur résiduaire issue du refroidisseur d'aggloméré avec agglomération conventionnelle et par procédé EOS*

La chaleur sensible présente dans l'air chaud du refroidisseur d'aggloméré est utilisée pour produire de la vapeur dans la chaudière à chaleur résiduaire et pour préchauffer l'air de combustion dans les hottes d'allumage.

Principaux niveaux d'émission atteints : Les volumes de récupération de l'énergie mesurés représentent 18 % de l'apport total d'énergie pour la chaudière à chaleur résiduaire et 2,2 % de l'apport total d'énergie pour la recirculation vers les hottes d'allumage [InfoMil, 1997].

- *Récupération de la chaleur issue du refroidisseur d'aggloméré et des gaz résiduaires avec recirculation des gaz résiduaires par section*

L'installation d'agglomération Sumitomo Heavy Industries Kokura No. 3 applique la recirculation des gaz résiduaires par section. Avant la recirculation, les gaz résiduaires traversent une chaudière à chaleur résiduaire. Les gaz issus du refroidisseur d'aggloméré traversent également une chaudière à chaleur résiduaire.

Principaux niveaux d'émission atteints : La récupération d'énergie mesurée grâce à ce système dans l'installation en question représente 23,1 % de l'apport d'énergie ; 120 kg de vapeur/t d'aggloméré sont produits à une température de 273 °C et à une pression de 9 bars [SHI, 1987].

- *« Refroidissement de la bande d'agglomération » et récupération de la chaleur résiduaire avec recirculation partielle des gaz résiduaires*

Dans l'installation d'agglomération de Sumitomo Heavy Industries Wakayama No. 4, le refroidisseur d'aggloméré est intégré dans la bande d'agglomération (« refroidisseur de la bande d'agglomération »). Dans cette installation, les gaz résiduaires des zones d'agglomération et de refroidissement situées sur la grille passent à travers les chaudières à chaleur résiduaire et sont ensuite réacheminés vers la bande d'agglomération.

Principaux niveaux d'émission atteints : Le volume de chaleur récupérée représente 30 % de la chaleur d'entrée. Environ 120 kg de vapeur/t d'aggloméré sont produits à une pression de 25 bars et à une température de 375 °C. L'installation est conçue pour une production d'aggloméré de 10 000 t/jour et dispose d'une zone d'agglomération de 360 m² [SHI, 1987], mais la productivité pourrait être fortement amoindrie si le système était appliqué à une installation déjà existante fournissant un rendement maximum ou quasi maximum.

Applicabilité : Le principe de récupération de la chaleur résiduaire issue des cheminées ou du refroidisseur d'aggloméré peut être appliqué aussi bien aux installations nouvelles qu'aux installations déjà existantes. Toutefois, il s'avère que les coûts d'investissement sont moins élevés pour une installation nouvelle intégrant des systèmes de récupération de la chaleur dès l'étape de conception et que la configuration en l'état de certaines installations déjà existantes peut entraîner des coûts parfaitement prohibitifs.

Effets croisés : Réduction de la consommation d'énergie et, dans certains cas également, des émissions de poussières, grâce aux séparateurs de grosses poussières pré installés.

Aspects économiques : Les dépenses d'équipement sont spécifiques pour chaque site, mais l'application de la récupération de la chaleur résiduaire réduit les coûts d'exploitation.

Installations de référence : Le principe de récupération de la chaleur issue du refroidisseur d'aggloméré est fréquemment appliqué (p. ex. à Hoogovens IJmuiden, IJmuiden, Pays-Bas, à Thyssen Stahl en Allemagne et dans 64 % des installations d'agglomération japonaises) [OECD, 1988 ; Arimitsu, 1995].

En 1995, 43 % des installations d'agglomération japonaises appliquaient le système de récupération de la chaleur résiduaire issue des cheminées [Arimitsu, 1995] et trois bandes d'agglomération de l'installation de British Steel récupéraient la chaleur présente dans l'air chaud du refroidisseur d'aggloméré.

Données opérationnelles : Aucun problème spécifique connu.

Documents de référence : [Arimitsu, 1995 ; InfoMil, 1997 ; OECD, 1988 ; SHI, 1987]

PI.6 Agglomération de la couche supérieure

Description : Le point PI.2 décrivait le recyclage des matériaux ferreux vers la bande d'agglomération. En ce qui concerne les matériaux recyclés contenant des hydrocarbures, notamment l'huile, le point PI.3 décrivait les techniques de réduction des apports d'huile et d'hydrocarbures. Il existe une autre possibilité de recyclage des matériaux présentant des teneurs en huile allant jusqu'à 3 %. Cette technique s'appelle l'« agglomération de la couche supérieure » et son coût est connu pour être bien moins élevé que les autres techniques de déshuilage. Par « agglomération de la couche supérieure », il faut comprendre qu'un certain mélange de sous-produits et de résidus contenant de l'huile et des hydrocarbures et présentant une teneur en eau d'environ 7 % est déposé avec un tambour d'alimentation sur la principale couche d'agglomération. Une seconde hotte d'allumage qui délivre entre 25 et 35 % de l'énergie totale fournie par le brûleur principal est utilisée pour allumer cette seconde couche. Afin d'obtenir une bonne qualité d'agglomération à partir de la seconde couche d'agglomération des sous-produits et résidus huileux, il est important d'effectuer une sélection équilibrée des porteurs d'énergie dans cette couche qui permette de répondre aux exigences d'enthalpie pour l'évaporation de l'eau et de l'huile, pour le craquage des composés organiques inhérents, ainsi que pour l'agglomération complète de cette couche. Outre la proportion précise des composés du combustible d'agglomération, le positionnement et le temps d'allumage exacts de la seconde couche d'agglomération revêtent une grande importance.

Bénéfices environnementaux : La combustion d'hydrocarbures (principalement dérivés de la teneur en huile des matières recyclées) dans les couches d'aggloméré est optimisée afin de protéger l'électrofiltre (protection anti-incendie) et d'éviter les vapeurs bleues (qui représentent les composés organiques dont la combustion est incomplète). De plus, les émissions de PCDD/F peuvent être réduites ; des tests effectués au niveau de la grille des fours indiquent une réduction de 60 à 65 % [VAI, 1996], mais aucune donnée n'est disponible pour la chaîne d'agglomération.

Applicabilité : Applicabilité limitée pour les installations déjà existantes en raison du manque d'espace pour les installations additionnelles de stockage ainsi que pour un second système d'alimentation. Les nouvelles installations devraient normalement mettre en œuvre des techniques permettant de réduire au minimum les apports d'hydrocarbures et d'huile des sous-produits et résidus recyclés. La flexibilité en termes de sélection des matières premières est très limitée.

Effets croisés : L'allumage de la seconde couche requiert du combustible additionnel.

Installations de référence : Installation d'agglomération de Voest-Alpine Stahl Donawitz GmbH, Leoben-Donawitz, Autriche

Données opérationnelles : L'installation d'agglomération de Voest-Alpine Stahl Donawitz GmbH dispose d'une zone d'aspiration de 120 m² et une productivité de 35 t/m² pour 24 h. La productivité n'a pas changé après l'introduction de la méthode d'agglomération de la couche supérieure en janvier 1995. La capacité de recyclage des résidus, sous-produits et matériaux ferreux est de 18 t/h.

Aspects économiques : Non disponibles.

Documents de référence : [VAI, 1996]

PI.7 Recirculation des gaz résiduaux, p. ex. procédé EOS (optimisation des émissions d'agglomération)

Description : En 1992 ont été publiés des résultats montrant que le recyclage d'une partie des gaz résiduaux issus de la chaîne d'agglomération pouvait réduire de façon significative la quantité de gaz résiduaux destinée au traitement en fin de process, limiter les émissions de polluants à la source et réduire la consommation de combustible solide [Gudenau, 1992]. Une première application de démonstration et commerciale mise en œuvre en mai 1994 dans l'installation de Hoogovens IJmuiden aux Pays-Bas a absolument confirmé le potentiel de cette méthode. Une chaîne d'agglomération dotée d'une zone d'aspiration de 132 m² a été entièrement recouverte par une hotte étanche aux gaz résiduaux, conformément au procédé EOS Lurgi (optimisation des émissions d'agglomération) (Figure 4.16).



Figure 4.16 : Bande d'agglomération entièrement recouverte, conformément au procédé EOS – [Panne, 1997]

Le concept consiste à recycler une partie des gaz résiduaux mélangés issus de l'ensemble de la chaîne d'agglomération vers la surface totale de la chaîne. Le taux de recyclage des gaz résiduaux d'agglomération est de l'ordre de 40 à 45 %, ce qui correspond à une concentration en oxygène, dans le mélange de gaz humide et d'air contenu sous la hotte, de l'ordre de 14 à 15 % ; cela entraîne une réduction de 45 à 50 % des flux de gaz résiduaux émis dans l'atmosphère. Les gaz résiduaux sont dépoussiérés dans un cyclone avant d'être recyclés. Dans ces conditions, la productivité de la chaîne d'agglomération reste inchangée et la consommation de poussier de coke diminue de 10 à 15 % par rapport à des méthodes conventionnelles. La qualité de l'aggloméré, définie comme une désintégration par réduction, se maintient au même niveau, le taux d'oxyde ferreux FeO dans l'aggloméré augmente de 1,5 %, la capacité de réduction augmente, la résistance à froid diminue légèrement et le diamètre moyen se maintient à environ 17 mm [Panne, 1997]. L'utilisation d'« aggloméré EOS » dans les hauts

fourneaux ne présente aucun effet négatif, mais il convient de préciser que cet « aggloméré EOS » ne compte que pour 50 % de la charge totale car le pourcentage de pellets utilisés dans les hauts fourneaux de l'installation de Hoogovens, IJmuiden, Pays-Bas est élevé. Dans d'autres installations, le pourcentage d'aggloméré utilisé dans le lit d'agglomération des hauts fourneaux peut être bien plus élevé (jusqu'à 95 %).

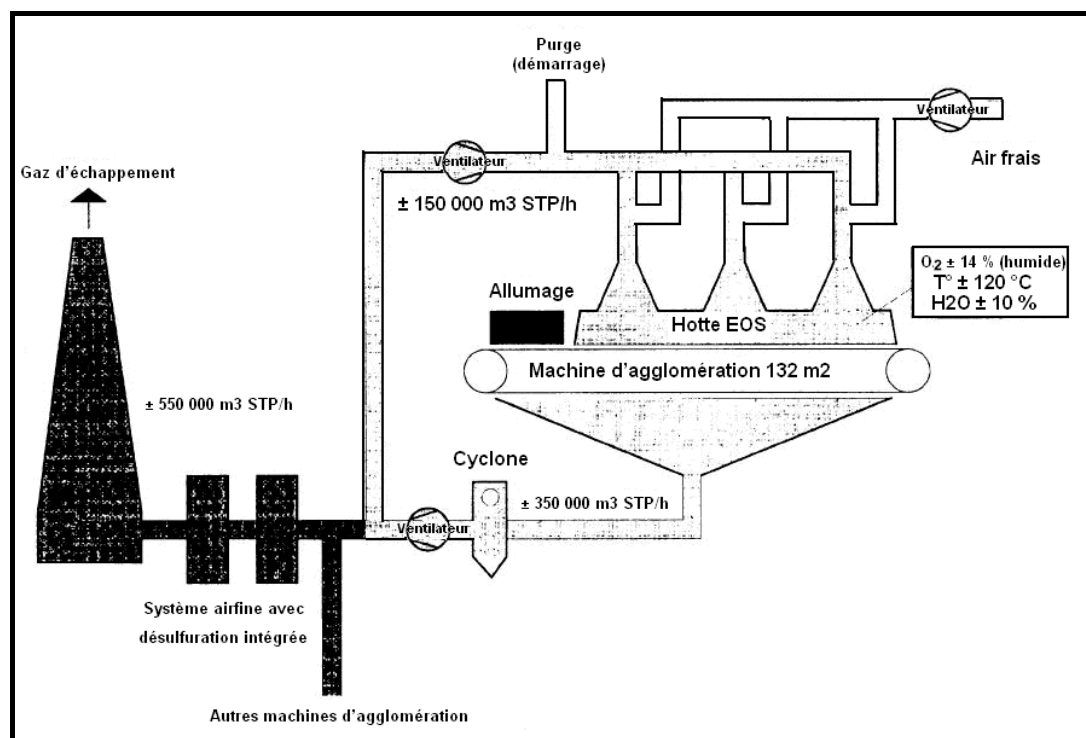


Figure 4.17 : Diagramme schématisé du procédé EOS (optimisation des émissions d'agglomération) – [Kersting, 1997]

Principaux niveaux d'émission atteints : Le procédé EOS a été à l'origine développé pour réduire les flux de gaz résiduels et, par conséquent, les émissions de particules et de PCDD/F ; l'intérêt était de permettre le traitement des gaz résiduels par le biais d'équipements de réduction additionnels avant de les rejeter dans l'atmosphère. Les volumes à traiter pourraient ainsi être réduits, ce qui entraînerait des économies au niveau des coûts d'équipement et d'exploitation. Le résultat de cette installation commerciale particulière qui présente des taux élevés de basicité de l'aggloméré ($\geq 1,7$ CaO/SiO_2) montre qu'il est possible de mettre en œuvre avec succès le procédé EOS (Tableau 4.4). Les résultats obtenus pour un faible taux de basicité de l'aggloméré sont aussi convaincants.

Composant	Unité	Procédé d'agglomération conventionnelle		Procédé d'optimisation des émissions d'agglomération	
		Juillet 1994	Octobre 1994	Juillet 1994	Octobre 1994
Flux de gaz total	Nm ³ /h	394 000	372 000	328 000	328 000
Flux de recirculation	Nm ³ /h	0	0	153 000	120 000
Flux de gaz résiduels émis	Nm ³ /h	394 000	372 000	175 000	208 000
Température	° C	164	114	155	149
Pourcentage d'humidité	%	10	11	16	19
Point de rosée acide	° C	46±5	a.d	71±5	a.d
Particules ^{*1}	g/t d'aggloméré	500	a.d	170	a.d
O ₂	%	15	15	11,5	12,1
CO ₂	%	7,5	7	11,7	11,2
CO	%	1	1,2	1	1
SO ₂	g/t d'aggloméré	1430	890	840	680
NO _x	g/t d'aggloméré	630	570	300	410
C _x H _y	g/t d'aggloméré	200	145	95	83
PCDD/F	µg I-TEQ/t d'aggloméré	2	a.d	0,6	a.d

*1 à l'heure actuelle, les émissions de particules ne sont réduites que par le biais des cyclones

Tableau 4.4 : Comparaison des caractéristiques et des valeurs d'émission pour un procédé d'agglomération conventionnel et un procédé EOS (optimisation des émissions d'agglomération) sur la chaîne d'agglomération de l'installation de Hoogovens IJmuidens avec une zone d'aspiration de 132 m² et une production de 4 700 t d'aggloméré à forte basicité par jour – [Panne, 1997]

Les réductions d'émission (en masse) obtenues par le biais du procédé EOS de l'installation commerciale décrite sont les suivants :

Paramètre	Réduction des émissions* (% en masse)	
	aggloméré à faible basicité	aggloméré à forte basicité
Flux de gaz résiduels	40	40-50
Particules	50	60
Monoxyde de carbone (CO)	45	50
SO ₂	?	15-20
NO _x	35	30-45
Hydrocarbures (C _x H _y)	n.d	50
PCDD/F	70	65

* La réduction des émissions est exprimée comme une réduction du flux massique du composant. Cela n'implique pas forcément une réduction de la concentration

? = aucune donnée régulière disponible ; n.d = données non disponibles

Tableau 4.5 : Mesure des réductions d'émission (en masse) par le biais du procédé EOS (optimisation des émissions d'agglomération) – [Panne, 1997]

Le procédé EOS permet de réduire la consommation de poussier de coke, qui passe ainsi de 60 kg/t d'aggloméré à 48 kg/t d'aggloméré [Panne, 1997]. L'économie importante d'énergie thermique réalisée dans l'installation néerlandaise décrite ne doit pas forcément être appliquée aux autres installations car ces installations fonctionnent parfois déjà avec de faibles apports d'énergie thermique obtenue à partir de combustibles solides, ce qui est le résultat de l'application des mesures d'optimisation des processus. Les données du Tableau 4.1 et les données indiquées dans l'étude menée par le Comité européen des hauts fourneaux, qui reflètent les données d'exploitation des installations d'agglomération (1996), montrent clairement que bon nombre d'installations européennes fonctionnent déjà avec des taux bien plus faibles que ceux indiqués [Panne, 1997].

L'application du procédé EOS nécessite l'installation de ventilateurs d'aspiration supplémentaires. Cela entraîne une augmentation de la capacité électrique installée qui doit passer de 200 à 400 kW, ce qui correspond à une consommation d'énergie additionnelle comprise entre 0,003 et 0,008 GJ/t d'aggloméré, ce qui est plutôt faible par rapport aux économies globales potentielles.

Lorsque des minerais de fer carbonatés sont utilisés, la concentration de CO₂ dans les gaz résiduels augmente de telle sorte que l'application du procédé EOS peut fortement entraver le procédé d'agglomération. Les émissions de CO₂ dans les installations n'utilisant pas de minerais carbonatés atteignent des valeurs comprises entre 190 et 220 kg/t d'aggloméré (Tableau 4.1), tandis que dans les installations qui utilisent des minerais carbonatés, ces valeurs peuvent être deux fois plus élevées.

Applicabilité : Le procédé EOS peut être appliqué aussi bien aux installations nouvelles qu'aux installations déjà existantes. Toutefois, il s'avère que les coûts d'investissement sont moins élevés pour une nouvelle installation intégrant le système dès l'étape de conception et que dans certaines installations déjà existantes les coûts peuvent être très élevés en raison de la conception de l'installation.

Effets croisés : Le système EOS réduit aussi bien les émissions atmosphériques que la consommation d'énergie lors du processus d'agglomération. Les ventilateurs d'aspiration additionnels accroissent la consommation d'électricité mais cette augmentation est négligeable comparée aux économies réalisées au niveau du poussier de coke. Il convient de prêter une attention toute particulière au monoxyde de carbone (CO) présent dans les gaz résiduels en recirculation afin de prévenir l'empoisonnement des employés par le monoxyde de carbone.

Installations de référence : Installation de Hoogovens IJmuiden, IJmuiden, Pays-Bas. L'ensemble de la production d'aggloméré obtenue dans cette installation est réalisée par le biais du procédé EOS. On peut également signaler l'installation de Wierton aux Etats-Unis qui fonctionne selon le même système depuis plusieurs années.

Aspects économiques : La mise en œuvre du procédé EOS dans l'installation d'agglomération de Hoogovens IJmuiden, qui génère un flux total conventionnel de gaz résiduels d'environ 1,2 MNm³/h obtenu à partir de trois chaînes d'agglomération, a nécessité l'investissement de 17 millions d'ECU₁₉₉₆. Les coûts d'exploitation ont été réduits par rapport au processus d'agglomération conventionnel grâce à l'utilisation moindre de poussier de coke. Les économies d'exploitation sont estimées à 2,5 millions d'ECU₁₉₉₆/an. Ces chiffres reposent sur une diminution de 6 kg/t d'aggloméré de la consommation de poussier de coke, pour un prix de 100 ECU₁₉₉₆/t de poussier de coke et une production d'aggloméré de 4,2 Mt/an [Goverde, 1995]. Ces chiffres semblent exceptionnels et impossibles à atteindre dans une autre installation d'agglomération de l'UE, notamment dans celles qui fonctionnent déjà avec des quantités de combustible solide bien plus faibles que celles mentionnées pour Hoogovens (voir ci-dessus). Il faut également souligner que le prix moyen estimé du poussier de coke utilisé dans les autres installations de l'UE s'élève à environ 60 ECU₁₉₉₆/t, ce qui rend toute économie potentielle de poussier de coke moins attractive d'un point de vue financier.

Néanmoins, le volume réduit des gaz résiduels émis de la chaîne d'agglomération, obtenu grâce à l'application du principe de recirculation des gaz résiduels, implique que les coûts de réduction en fin de process seront moins élevés.

Moteurs de la mise en œuvre : Les principaux moteurs de mise en œuvre ont été des obligations et des normes d'émission très strictes imposées par les autorités.

Données opérationnelles : Le procédé EOS a été mis en œuvre pour la première fois en mai 1994 sur la chaîne d'agglomération 31 de l'installation d'agglomération de Hoogovens IJmuiden. Aujourd'hui, le procédé EOS est appliqué sur les trois chaînes d'agglomération de l'installation. Jusqu'à présent, le système s'est avéré efficace à plus de 95 %. En cas de panne, le système passe automatiquement en mode d'agglomération conventionnel.

Documents de référence : [Panne, 1997 ; Goverde, 1995]

PI.8 Recirculation des gaz résiduaux par section

Description : Le concept de technologie de recyclage sélectif repose sur l'aspiration locale des gaz résiduaux d'agglomération sous la chaîne d'agglomération et sur leur recyclage local au-dessus du lit d'agglomération. Cette aspiration sélective et le recyclage qui s'ensuit constituent la principale différence entre ce principe et le procédé EOS. La figure 4.18 présente un diagramme schématisé de la recirculation des gaz résiduaux par section mise en œuvre dans une installation d'agglomération au Japon.

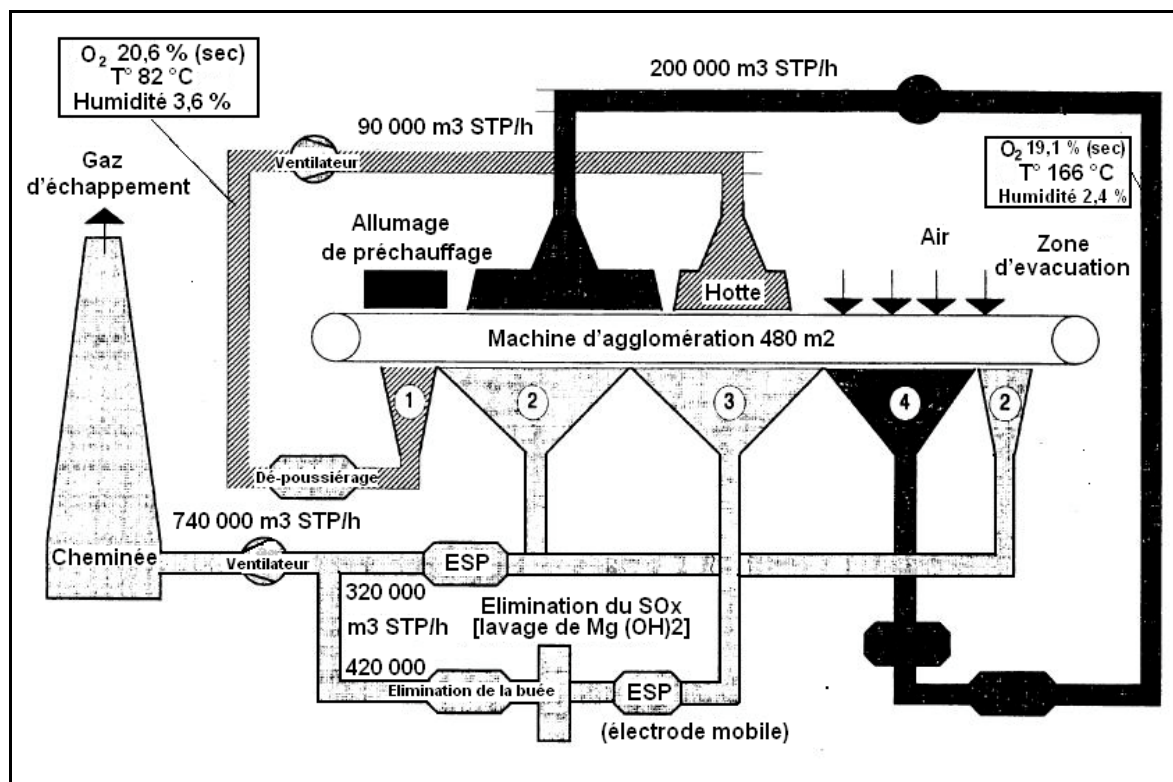


Figure 4.18 : Diagramme schématisé de la recirculation sélective des gaz résiduaux (Nippon Steel Corporation – Yawata Works – installation n°3 de Tobata) - [Kersting, 1997]

Dans ce cas, la surface d'agglomération de 480 m² est divisée en quatre zones distinctes :

- Zone 1 : gaz correspondant à la section de préchauffage du mélange brut à recycler au milieu de la chaîne d'agglomération (teneur élevée en O₂, teneur faible en H₂O, température basse) (voir Figure 4.5, Figure 4.8 et Tableau 4.6) ;
- Zone 2 : gaz à faible teneur en SO₂, mis en décharge dans les cheminées après le dépoussiérage (teneur faible en O₂, teneur élevée en H₂O, température basse) (voir Figure 4.5, Figure 4.8 et Tableau 4.6) ;
- Zone 3 : gaz à teneur élevée en SO₂, mis en décharge dans les cheminées après le dépoussiérage et la désulfuration (épuration avec une solution à base d'hydroxyde de magnésium, dans le cas présent) (teneur faible en O₂, teneur élevée en H₂O, température basse) (voir Figure 4.5, Figure 4.8 et Tableau 4.6) ;

- Zone 4 : gaz à teneur élevée en SO₂, correspondant à la section chaude autour de la flamme, à recycler dans la première moitié de la chaîne d'agglomération, juste après la zone d'allumage (teneur élevée en O₂, teneur faible en H₂O, température très élevée) (voir Figure 4.5, Figure 4.8 et Tableau 4.6).

Dans cette procédure, la concentration en O₂ présente dans les gaz résiduaux recyclés reste élevée (19 %) et l'humidité reste faible (3,6 %). Un taux de recyclage de 25 % est atteint avec un impact négatif sur la qualité de l'aggloméré (l'indice RDI (de désintégration par réduction) reste pratiquement constant et l'indice SI (de résistance à la chute) augmente de 0,5 %). Une économie de combustible solide de 6 % est également mesurée.

Par rapport au processus d'agglomération conventionnel, ce système présente deux avantages :

1. L'oxygène non utilisé dans les gaz résiduaux peut être réutilisé efficacement par la recirculation ;
2. Les gaz résiduaux des différentes sections peuvent être traités séparément selon la composition des gaz. Ainsi, les coûts d'investissement et d'exploitation des installations de traitement des gaz résiduaux peuvent être réduits de façon significative par rapport au processus d'agglomération conventionnel, et même par rapport au procédé EOS.

Section du flux de gaz résiduaux	Composition des gaz résiduaux					Traitement des gaz résiduaux
	Flux [kNm ³ /h]	Temp. [° C]	O ₂ [% vol.]	H ₂ O [% vol.]	SO ₂ [mg/Nm ³]	
Boîtes vent 1 - 3	62	82	20,6	3,6	0	En recirculation vers la chaîne d'agglomération
Boîtes vent 4 - 13 + 32	290	99	11,4	13,2	21	Vers la cheminée après l'électrofiltre (précipitation électrostatique)
Boîtes vent 14 - 25	382	125	14,0	13,0	1000	Vers la cheminée après l'électrofiltre et la désulfuration
Boîtes vent 26 - 31	142	166	19,1	2,4	900	En recirculation vers la chaîne d'agglomération
Cheminée	672	95	12,9	13,0	15	Émissions dans l'air

Tableau 4.6 : Caractéristiques des flux de gaz résiduaux, selon le principe de recirculation des gaz résiduaux par section dans l'installation d'agglomération n°3 de Tobata, Yawata Works de la NSC – d'après [Sakuragi, 1994]

Principaux niveaux d'émission atteints : Les améliorations suivantes ont été atteintes en termes de réduction de la pollution : une réduction significative des gaz résiduaux rejetés dans l'atmosphère (environ 28 %), des émissions de poussières (environ 56 %, qui incluent l'effet dû à la nouvelle conception du séparateur électrostatique, désormais équipé d'électrodes mobiles) et des rejets de SO₂ (environ 63 %, qui incluent la désulfuration en fin de process des gaz issus de la zone 3). Une légère diminution des émissions de NO_x (environ 3 %) est également relevée. Le tableau 4.7 compare les émissions avant et après l'application du principe de recirculation des gaz résiduaux par section.

Caractéristique/composant	Unité	Conventionnel (avec installation de désulfuration)	Recirculation des gaz résiduaux par section	Amélioration
Flux de gaz résiduaux	Nm ³ /h	925 000	665 000	28 %
Particules	mg/Nm ³	50	30**	56 % en masse
SO _x ***	mg/Nm ³	26	14	63 % en masse
NO _x	mg/Nm ³	40/8	559	3 % en masse
Consommation d'énergie nette	GJ/t d'aggloméré	1,662	1,570	6 %****

* les gaz résiduaux sont traités par précipitation électrostatique

** la réduction des émissions de poussières est en partie atteinte après réparation de l'électrofiltre

*** une partie des gaz résiduaux est traitée dans l'unité de désulfuration

**** cette réduction de la consommation d'énergie nette doit être considérée en relation avec les exigences relatives de productivité et de qualité au Japon et dans les installations d'agglomération de l'UE

Tableau 4.7 : Comparaison de la composition finale des gaz résiduels avant et après l'application du principe de recirculation des gaz résiduels par section. Installation d'agglomération n°3 de Tobata, Yawata Works de la NSC – d'après [Sakuragi, 1994]

Applicabilité : Le principe de recirculation des gaz résiduels par section peut être appliqué aussi bien aux installations nouvelles qu'aux installations déjà existantes. Toutefois, il s'avère que les coûts d'investissement sont moins élevés pour une nouvelle installation intégrant le système dès l'étape de conception et que dans certaines installations déjà existantes les coûts peuvent être très élevés en raison de la conception de l'installation.

Effets croisés : L'installation de ventilateurs additionnels accroît la consommation d'électricité mais cette demande d'énergie accrue est négligeable comparée à la diminution de la consommation de poussier de coke.

Installations de référence : Il existe au Japon cinq installations qui appliquent cette technique. Les données indiquées ici reposent sur l'installation d'agglomération n° 3 de Tobata, Yawata Works, Nippon Steel Corporation.

Données opérationnelles: Un système fonctionnant selon le principe de recirculation des gaz résiduels par section a été mis en œuvre en octobre 1992 dans l'installation d'agglomération n°3 de Tobata, Yawata Works de la Nippon Steel Corporation. Les gaz résiduels sont divisés en quatre sections, qui appliquent chacune un traitement différent. Le système fonctionne parfaitement et le recyclage des gaz résiduels n'affecte en aucune façon la qualité de l'aggloméré [Sakuragi, 1994]. Toutefois, ce dernier point doit être considéré en fonction de la productivité réduite de l'installation japonaise en question comparée à la productivité de bon nombre d'installations d'agglomération de l'UE.

Aspects économiques : Les coûts des investissements européens actuels pour le système de recyclage des gaz sont estimés entre 8 et 10 millions d'ECU₁₉₉₇, sans compter les équipements de réduction du NO_x, du SO_x et les autres équipements de réduction.

Les coûts d'exploitation exprimés sont confidentiels. Néanmoins, la consommation de coke relevée a été réduite de 6 %.

Documents de référence : [InfoMil, 1997 ; Sakuragi, 1994]

4.3.4 Techniques appliquées en fin de process (détail)

EP.1 Séparateur électrostatique (ESP)

Description : Les appareils de réduction les plus fréquemment utilisés pour le traitement de larges volumes de gaz résiduaux dans les installations d'agglomération de l'UE sont les séparateurs électrostatiques par voie sèche à trois ou quatre champs en série. Ils fonctionnent en créant un champ électrostatique traversé par les particules contenues dans le flux d'air. Les particules se chargent négativement et migrent vers les plaques réceptrices chargées positivement. Dans les séparateurs électrostatiques par voie sèche, le matériau ainsi collecté est soumis aux heurtoirs qui frappent ou font vibrer régulièrement les plaques réceptrices, ce qui permet de déloger le matériau et de le faire tomber dans les trémies de récupération.

Dans les séparateurs électrostatiques par voie humide, le matériau collecté est délogé par le biais d'un flux d'eau permanent qui est ensuite récupéré et traité.

Afin d'obtenir un bon degré de séparation, la résistivité spécifique des particules doit être de l'ordre de 10^4 à $10^9 \Omega\text{m}$. En règle générale, la taille de la plupart des particules présentes dans les gaz résiduaux issus du processus d'agglomération est comprise entre 10^4 et $10^9 \Omega\text{m}$, mais les composés qui présentent une résistivité spécifique largement supérieure, tels que les chlorures alcalins, les chlorures de métaux lourds et les oxydes de calcium (voir Figure 4.7 et Figure 4.10) sont également présents et s'avèrent difficiles à récupérer, même lorsque l'efficacité du séparateur est élevée.

D'autres facteurs influencent l'efficacité du séparateur : le taux du flux de gaz résiduaux ; la force du champ électrique ; le taux de chargement des particules ; la concentration en SO_3 ; la teneur en humidité ; et enfin le profil et la surface des électrodes.

Les performances des séparateurs électrostatiques ont été améliorées en recourant à une tension plus élevée ou à impulsions variables, à une tension de réaction rapide et à des contrôles réguliers [Hodges, 1995]. Le procédé a également été amélioré par l'introduction de systèmes qui augmentent le frappe jusqu'à une force équivalente de 200 G, par la superposition d'impulsions à haute énergie et par une remise à neuf avec des plaques présentant une surface plus importante. Le conditionnement avec du SO_3 et/ou de la vapeur d'eau peut également améliorer l'efficacité du dépoussiérage. En revanche, les émissions de HCl risquent de s'accroître.

Trois nouveaux types d'électrofiltre présentant de bonnes performances sont mis en avant ci-dessous mais, jusqu'à maintenant, ces techniques n'ont été mises en œuvre que dans peu d'installations commerciales.

a) Séparateur électrostatique à électrode mobile (MEEP) : Dans le séparateur MEEP, plusieurs groupes d'électrodes se déplacent sur des châssis chenillés. Ils sont constamment nettoyés par des brosses en rotation. Ainsi, les poussières les plus adhésives sont facilement retirées des plaques et l'effet d'agglomération des couches de poussières est évité (voir partie 4.2.2.1.2.2) [InfoMil, 1997; Bothe, 1993].

b) Superposition d'impulsions énergétiques : Le système d'impulsions fournit une tension qui consiste en une superposition d'impulsions négatives rapprochées sur une tension filtrée de polarité négative. Ces impulsions à haute tension ont une durée de 140 μs et peuvent être répétées à une fréquence allant jusqu'à 200 impulsions par seconde. La tension de crête est plus élevée avec une alimentation par impulsion, ce qui améliore le chargement des particules et la répartition habituelle dans le séparateur. L'une des principales caractéristiques de l'alimentation par impulsion est sa capacité à traiter les poussières présentant une résistivité élevée (voir partie 4.2.2.1.2.2) [Kim, 1998].

c) Système électrostatique ESCS (*Electrostatic Space Cleaner Super*). Le système ESCS fonctionne avec une tension élevée (entre 70 et 200 kV). Cela est possible grâce à la distance importante qui sépare les plaques électrodes [InfoMil, 1997].

Principaux niveaux d'émission atteints : L'électrofiltre réduit les concentrations de particules avec une efficacité supérieure à 95 %. Dans certains cas, cette efficacité peut même atteindre 99 %. Les données d'exploitation pour les installations d'agglomération sont de l'ordre de 20 à 160 mg/Nm³. Les valeurs d'émission pour les systèmes MEEP et ESCS peuvent être inférieures à 40 mg/Nm³. L'électrofiltre avec superposition d'impulsions énergétiques atteint en moyenne des valeurs comprises entre 20 et 30 mg/Nm³.

Applicabilité : Les séparateurs électrostatiques peuvent être mis en œuvre aussi bien dans les installations nouvelles que dans les installations déjà existantes. Le système MEEP peut être installé comme le dernier champ d'un séparateur électrostatique déjà existant ou comme une unité séparée dans son propre boîtier [Bothe, 1993], mais la mise en œuvre et les possibilités de chacun des types d'installation sont spécifiques à chaque site d'agglomération.

Effets croisés : Un flux de déchets solides est produit. Dans certains cas, ce flux de déchets peut être recyclé vers le processus d'agglomération. Lorsque la concentration des composés de métaux lourds et/ou alcalins est trop élevée, la réutilisation peut être entravée.

Par ailleurs, la consommation d'énergie est augmentée. Pour une installation d'agglomération produisant un flux de gaz résiduels d'environ 1 MNm³/h, la consommation d'énergie varie entre 300 et 400 kW. Pour la production d'aggloméré de 4 Mt/an, la consommation peut atteindre des valeurs comprises entre 0,002 et 0,003 GJ/t d'aggloméré (soit entre 0,1 et 0,15 % de la consommation totale d'énergie d'agglomération).

Installations de référence : Presque toutes les installations d'agglomération en Europe sont équipées de séparateurs électrostatiques. Selon un rapport de [UBA Comments, 1997], toutes les installations allemandes appliquent désormais le principe de l'électrofiltre par voie sèche.

Le système MEEP a été mis en œuvre dans deux installations d'agglomération au Japon et dans deux installations d'agglomération en Allemagne, l'un dans l'installation Krupp Hoesch Stahl, à Dortmund, et l'autre dans l'installation Thyssen Krupp Stahl, à Duisburg.

Le système par superposition d'impulsions énergétiques a été mis en œuvre dans quatre installations d'agglomération de Kwangyang Works, à Posco en Corée du Sud, et dans deux chaînes d'agglomération de l'installation Thyssen Krupp Stahl, à Duisburg en Allemagne.

Le système ESCS a été mis en œuvre dans une installation d'agglomération de la Nippon Steel Corporation, Wakamatsu/Yawata Works, au Japon.

Données opérationnelles et aspects économiques : Le séparateur électrostatique est l'appareil de réduction des particules le plus fréquemment utilisé pour épurer l'installation d'agglomération des gaz résiduels et il peut être généralement appliqué sans problème. Il convient de prêter attention au volume d'hydrocarbures présents dans les gaz résiduels afin de réduire les risques d'incendie. Les techniciens contrôlent les battitures utilisées afin d'éviter la trop grande présence d'hydrocarbures dans les gaz résiduels.

Le tableau 4.8 présente les données d'exploitation et les considérations économiques relatives aux séparateurs électrostatiques mis en œuvre dans des installations d'agglomération.

Données économiques supplémentaires :

[DHV, 1996] indique les coûts suivants pour l'électrofiltre :

Investissement : 5 à 7,5 ECU₁₉₉₆/(Nm³/h) ;

Exploitation : 0,05 à 0,08 ECU₁₉₉₆/1000 Nm³ traités.

Pour une installation d'agglomération présentant une capacité de 4 Mt/an, un flux de gaz résiduaire d'1 million Nm³/h et 8640 heures d'exploitation par an, cela correspondrait aux coûts suivants :

Investissement : 5 à 7,5 millions d'ECU₁₉₉₆ ;

Exploitation : 0,11 à 0,16 ECU₁₉₉₆/t d'aggloméré.

Pour l'ajout d'un seul filtre MEEP à l'électrofiltre déjà existant, destiné à traiter 500 000 Nm³/h, un coût d'environ 1,1 million d'ECU₁₉₉₇ a été relevé.

Le facteur de coût décisif est le flux de gaz résiduaire.

Moteur de la mise en œuvre : Les principaux moteurs de mise en œuvre des techniques décrites ci-dessus ont été l'établissement de normes d'émission très strictes ou d'autres dispositions légales.

Documents de référence : [Gebert, 1995 ; InfoMil, 1997 ; Kim, 1998]

	Unité	Nippon Steel Corp. Wakamatsu/Yawata	Krupp Hoesch Stahl Dortmund	Kobe Steel Ltd. Kakogawa works	Sumitomo Metal Ind. Wakayama
Production d'aggloméré	(t/h)				
théorique		1 000	625	560	n/d
réelle		600	n/d	375	185
Flux de gaz résiduaires total	(10 ⁶ Nm ³ /h)				
théorique		2	1,05	1	n/d
réel		1	n/d	0,7	0,4
Basicité de l'aggloméré	(CaO/SiO ₂)	1,92	n/d	1,8	2,2
Séparateur électrostatique					
type		ESCS*	MEEP	n/d	électrofiltre par voie sèche
nombre		2 en parallèle	3 en parallèle	3 en parallèle	1
flux par électrofiltre	(10 ⁶ Nm ³ /h)	0,5	2*0,3 ; 1*0,45	0,25 - 0,33	0,4
Concentration de particules en entrée					
théorique	(mg/Nm ³)	1 000	n/d	1 000	n/d
réelle	(mg/Nm ³)	n/d	700	1 000	1 100
Concentration de particules en sortie					
théorique	(mg/Nm ³)	50	n/d	50	n/d
réelle	(mg/Nm ³)	20 - 37	25	30 - 50	40
Efficacité de l'électrofiltre					
théorique	(%)	95	n/d	95	n/d
réelle	(%)	n/d	96	95 - 97	96
Conditionnement de l'électrofiltre et/ou Prétraitement du combustible d'agglomération		électrofiltre non conditionné ; Teneur en huile des matières premières régulée (pas de déshuilage)	électrofiltre non conditionné ; Pas de mesure spéciale contre les risques d'incendie	électrofiltre non conditionné ; HC* maxi. dans l'électrofiltre : 1 % ; atteint pour un combustible avec 3 % maxi. de battitures	non conditionné
Sous-produit (poussières)					
quantité	(kg/t d'aggloméré)	1 - 2	n/d	1 - 2	2
traitement		recyclé vers le processus d'agglomération	recyclé vers le processus d'agglomération	n/d	n/d
Demande énergétique	(GJ/t d'aggloméré)	0,00036	n/d	n/d	n/d
Investissement	(1 x 10 ⁶ ECU ₁₉₉₆)	n/d	9 en 1995	n/d	4,2 en 1975
Coûts d'exploitation	(ECU ₁₉₉₆ /t d'aggloméré)	0,0018 - 0,0024 en 1986 (maintenance uniquement)	n/d	n/d	0,11 en 1986 (maintenance et dépréciation exclues)
n/d	non disponible				
*	ESCS Electrostatic Space Cleaner Super				
**	MEEP Moving Electrode Electrostatic Precipitator				

Tableau 4.8 : Données d'exploitation et considérations économiques pour les séparateurs électrostatiques MEEP et ESCS mis en œuvre dans les installations d'agglomération pour le traitement des gaz résiduaires issus des installations d'agglomération – [InfoMil, 1997]

EP.2 Système de filtre en tissu

Description : Le filtre en tissu est un système hautement efficace de réduction des émissions de particules dans un flux de gaz résiduaires. Les filtres en tissu améliorés avec des additifs peuvent également réduire les émissions de PCDD/F, d'acide chlorhydrique (HCl), d'acide fluorhydrique (HF) et, dans une moindre mesure, de dioxyde de soufre (SO₂). Les émissions de PCDD/F, notamment, peuvent être réduites de façon significative.

Les filtres, souvent tubulaires, sont placés sur des supports à l'intérieur d'une enveloppe étanche à l'air, appelée « filtre à manches », un terme souvent utilisé dans le même sens que « filtre en tissu ». Le courant d'air entre par le bas et les particules sont récupérées par le tissu lorsque l'air traverse le filtre. Un pain de filtre se forme jusqu'à ce que la chute de pression atteigne une valeur de consigne. Le filtre est alors désactivé pour être nettoyé par l'un des trois mécanismes mis en œuvre – inversement de l'air, ébranleurs ou propulseur. Plusieurs types de matériaux de filtration peuvent être utilisés et chacun dispose de ses propres caractéristiques spécifiques.

La mise en œuvre de filtres en tissu pour le traitement des gaz résiduaires issus d'une installation d'agglomération est souvent entravée par des températures élevées, l'abrasivité, les larges volumes de gaz, une chute de pression additionnelle et la « nature collante » des particules. L'expérience de la seule installation de l'UE qui utilise des filtres en tissu pour filtrer les gaz résiduaires issus de l'installation d'agglomération, après le dépoussiérage primaire effectué à l'aide d'un électrofiltre (une étape nécessaire avant l'emploi des filtres en tissu dans une installation d'agglomération), montre que les larges volumes de gaz et la chute de pression additionnelle n'entravent en aucune façon le fonctionnement du filtre. Par ailleurs, ni la nature abrasive des poussières, ni la nature collante des particules n'ont posé de problème et la question des températures élevées peut être facilement résolue par le choix judicieux des matériaux de fabrication du filtre à manches.

La présence de particules fines (notamment les chlorures alcalins, les chlorures de métaux lourds et les oxydes de calcium (voir partie 4.2.2.1.2.2)) et les concentrations relativement élevées de composés organiques risquent d'entraîner la formation d'un pain de poussières sur les tissus qui reste très soudé et constitue une couche relativement imperméable.

Selon un rapport de [Weiss, 1998], le problème des particules fines et des concentrations élevées des composés organiques peut être résolu par le biais de l'addition basique de chaux éteinte qui forme une couche préliminaire empêchant la formation de la couche imperméable et, par conséquent, le colmatage des matériaux filtrants. Par ailleurs, la concentration élevée d'hydrocarbures peut provoquer un incendie au niveau du filtre [EC LECES, 1991]. Selon [Gebert, 1995], la concentration des hydrocarbures dans les gaz résiduaires avant la filtration sur tissu doit être limitée à des valeurs comprises entre 20 et 30 mg/Nm³ afin d'éviter le colmatage des matériaux filtrants. L'expérience menée à Brême [Weiss, 1998] a montré que cette limite n'est pas indispensable lorsque de la chaux éteinte a été ajoutée ; des concentrations d'hydrocarbures de 200 mg/Nm³ ont été mesurées dans les gaz résiduaires sans que cela ne détériore le fonctionnement du filtre.

La Figure 4.19 présente le schéma d'un filtre à manche installé en aval d'un électrofiltre à deux champs déjà existant, afin de réduire au minimum les émissions de poussières et de métaux lourds.

L'ajout de chaux éteinte a été effectué lors de cette opération afin d'éviter les problèmes associés auparavant à l'application des filtres à manche destinés à traiter les gaz résiduaires issus des installations d'agglomération.

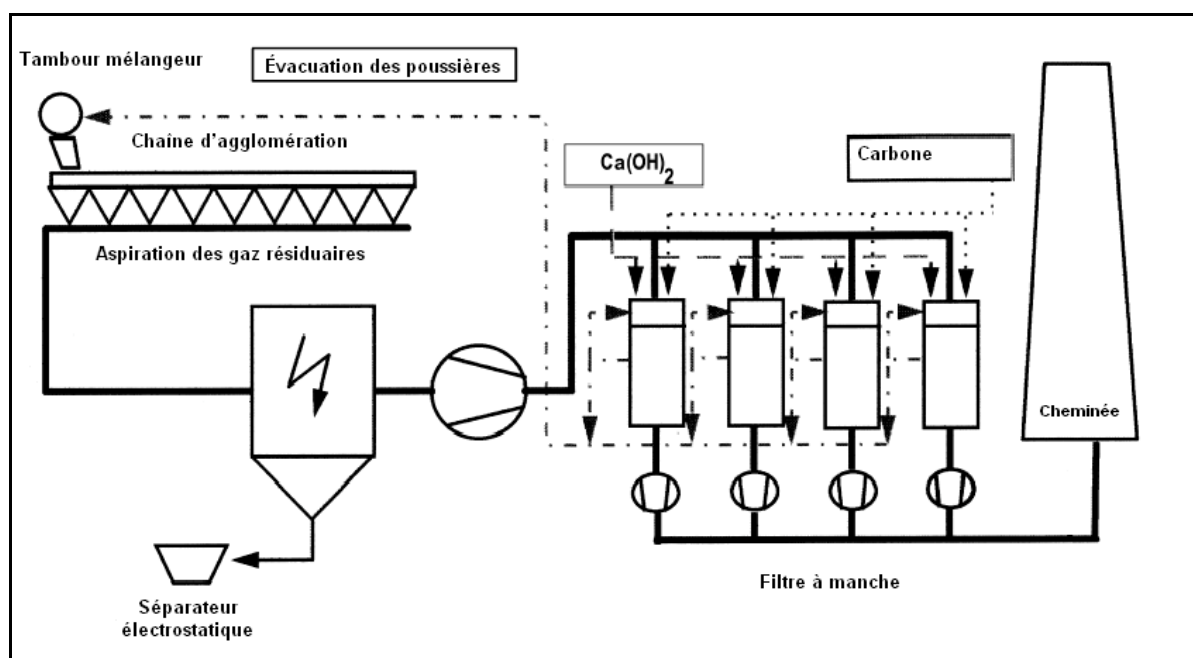


Figure 4.19 : Schéma d'un filtre à manche après le passage dans un électrofiltre pour le traitement avancé des gaz résiduels issus d'une installation d'agglomération – [Weiss, 1996]

De la poudre de coke de lignite additionnelle est ajoutée dans les gaz résiduels avant le passage dans le filtre à manche afin de réduire la concentration de PCDD/F (et de mercure) (Figure 4.20).

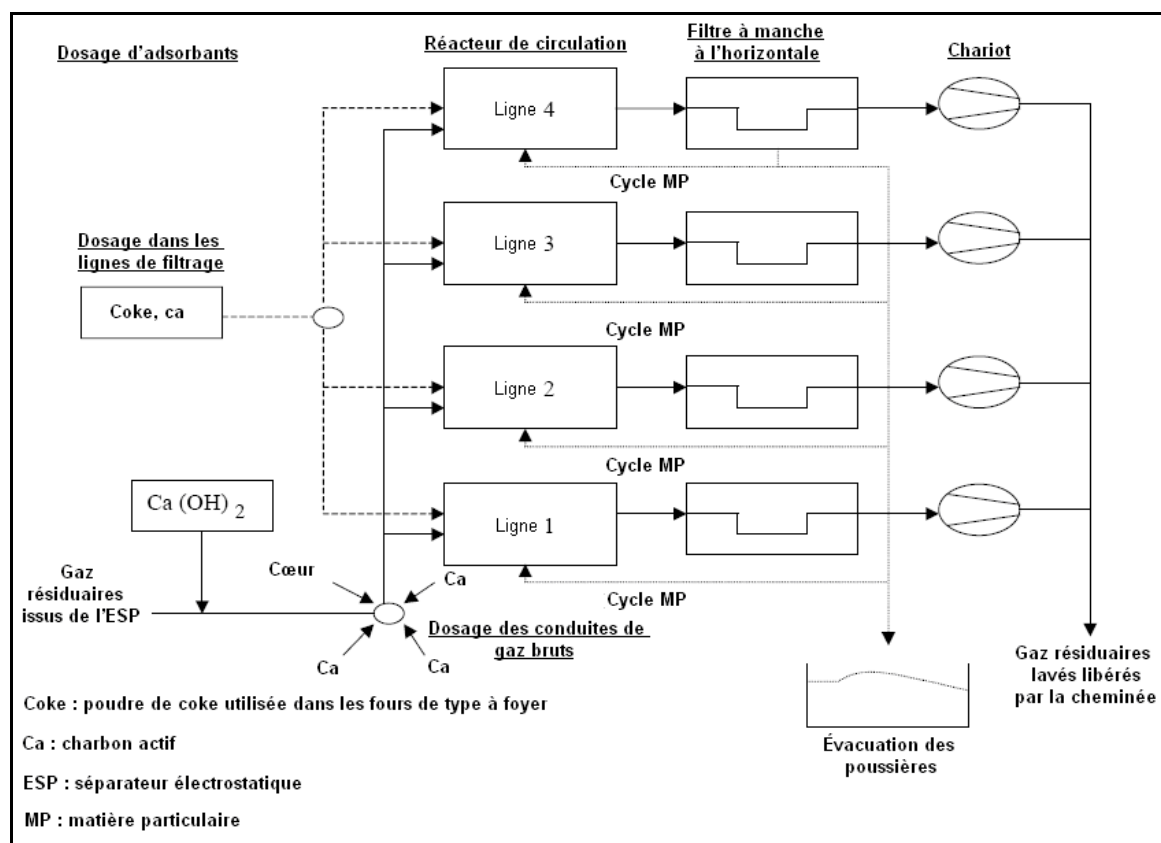


Figure 4.20 : Dosage de la poudre de coke de lignite et de la chaux ajoutées dans les gaz résiduaux issus d'une installation d'agglomération avant le passage dans le filtre à manche – [Weiss, 1996]

De même que le coke de lignite, la poudre de chaux est dosée de telle sorte qu'elle forme une couche préliminaire qui protège le filtre à manche en tissu et abaisse le point d'auto-allumage. Cela a également pour effet secondaire la réduction des émissions de HF et de HCl. Les poussières et les adsorbants sont entièrement recyclés vers la chaîne d'agglomération. Il faut noter que les poussières issues de l'électrofiltre sont mises en décharge en raison de leur teneur relativement élevée en chlorure alcalin, ce qui augmente la teneur en poussières résiduaux dans les gaz résiduaux traités.

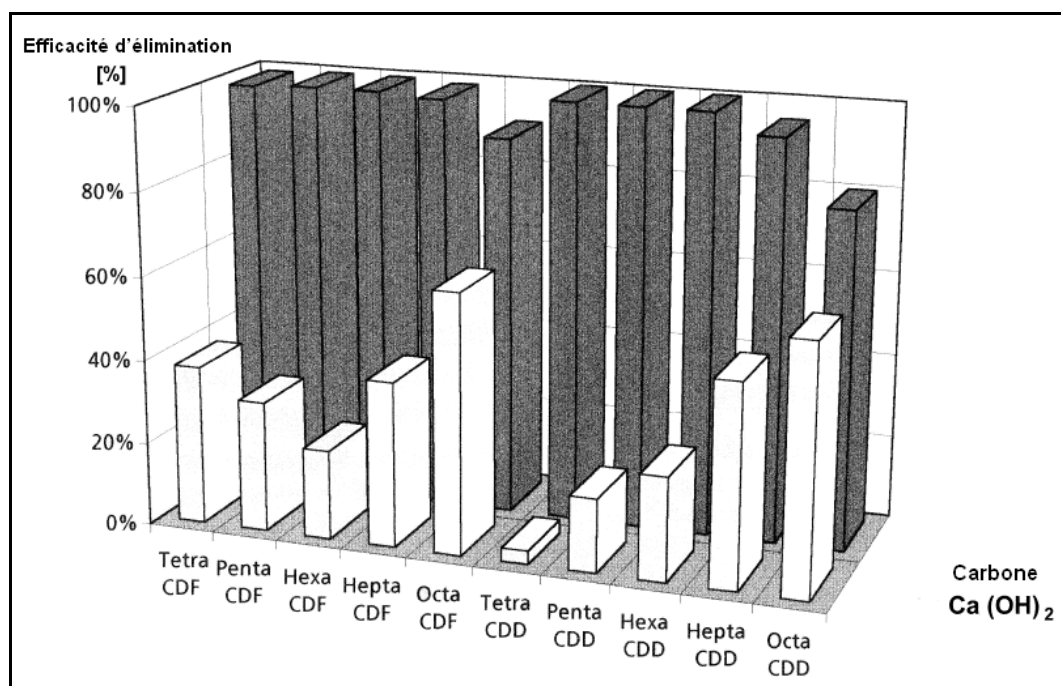


Figure 4.21 : Efficacité d'élimination des PCDD/F dans un filtre à manche avec ajout de poudre de coke de lignite – [Weiss, 1996]

En raison des concentrations relativement élevées des PCDD/F (après séparation électrostatique), qui peuvent atteindre 5 à 10 ng I-TEQ/Nm³, la concentration résiduaire est comprise entre 0,2 et 1 ng I-TEQ/Nm³, pour une valeur moyenne qui est, dans la plupart des cas, inférieure à 0,5 ng I-TEQ/Nm³. Cette teneur résiduaire est proportionnelle à la concentration de poussières fines atteinte.

Applicabilité : Un filtre en tissu peut être appliqué aussi bien dans les installations nouvelles que dans les installations déjà existantes. Toutefois, cette applicabilité est spécifique pour chaque site et dépend des caractéristiques des gaz résiduaux et des particules.

Effets croisés : Les filtres en tissu génèrent un flux de déchets solides (entre 0,5 et 1 kg/t d'aggloméré) qu'il est préférable de recycler vers le processus d'agglomération. Dans certains cas, les poussières récupérées contiennent des composés indésirables (p. ex. du zinc, du plomb, des alcalis), qui empêchent leur réutilisation. Dans ce cas, une partie voire la totalité des déchets solides doit être mise en décharge.

L'utilisation d'un filtre en tissu augmente également la consommation d'électricité (de 0,2 à 2,0 kWh/1 000 Nm³). Cela correspond à des valeurs qui varient entre 0,002 et 0,015 GJ/t d'aggloméré soit à moins d'1 % de la consommation totale d'énergie d'agglomération pour une installation produisant 4 Mt d'aggloméré par an, avec un flux de gaz résiduaires d'1 MNm³ et 8 640 heures d'exploitation par an.

Si du carbone est utilisé pour obtenir une réduction supplémentaire des émissions de PCDD/F, il convient alors de prêter une attention toute particulière au risque d'incendie du filtre et les températures d'exploitation doivent être maintenues autour du seuil de rosée des gaz résiduaires, voire en dessous de ce seuil. Des équipements de détection des étincelles doivent être installés et, si nécessaire, le filtre doit être contourné. Les filtres en tissu doivent être contournés pendant le démarrage.

Installations de référence : Il existe au moins trois appareils de filtration sur tissu en parfait état de fonctionnement qui traitent les gaz résiduaires des installations d'agglomération. Un appareil de filtration sur tissu supplémentaire est actuellement en cours de construction.

- 1) Stahlwerke Bremen GmbH, Brême, Allemagne ; le système décrit ci-dessus a été mis en œuvre en 1993. L'ajout permanent de la chaux et de la poudre de coke de lignite est effectué depuis 1996 ;
- 2) Inland Steel, East Chicago, Etats-Unis ;
- 3) Warren Consolidated Industries (WCI), Youngstown Sinter Company, Warren, Ohio, Etats-Unis ;
- 4) US Steel, Gary Works, Gary, Indiana, Etats-Unis : appareil de filtration sur tissu actuellement en cours de construction.

Données opérationnelles et aspects économiques :

Le tableau 4.9 présente un aperçu des données d'exploitation et des considérations économiques des filtres en tissu. Des informations plus spécifiques sont indiquées ci-dessous :

Données économiques supplémentaires :

[InfoMil, 1997] indique les coûts suivants :

Investissement : 5 à 15 ECU₁₉₉₆/(Nm³/h) ;

Exploitation : 0,25 à 1,5 écu₁₉₉₆/1 000 Nm³ traités.

Pour une installation d'agglomération présentant une capacité de 4 Mt/an, un flux de gaz résiduaires d'1 million Nm³/h et 8 640 heures d'exploitation par an, cela correspondrait aux coûts suivants :

Investissement : 5 à 15 millions d'ECU₁₉₉₆ ;

Exploitation : 0,54 à 3,24 écu₁₉₉₆/t d'aggloméré.

Les facteurs de coûts décisifs sont la chute de pression, le flux de gaz résiduaires, les matériaux de fabrication du filtre en tissu et le chargement du filtre.

Moteur de la mise en œuvre : Dans le cas de l'installation Stahlwerke Bremen, les autorités ont obligé la mise en œuvre de mesures de réduction au minimum des émissions de poussières, métaux lourds et PCDD/F. Afin de respecter les valeurs limites d'émission, Stahlwerke Bremen a choisi et mis en œuvre la technique décrite plus haut.

Documents de référence : [InfoMil, 1997 ; Gebert, 1995 ; Weiss, 1996 ; EC LECES, 1991]

	Unité	Stahlwerke Bremen GmbH, Bremen, Allemagne	Inland Steel* East Chicago, Etats- Unis	WCI-Youngstown Sinter Company**, Warren, Ohio, Etats- Unis
Capacité d'agglomération	(t d'aggloméré/h)			
théorique		260	167	125
réelle		230	125	100
Flux de gaz résiduels	(1 x 10 ⁶ Nm ³ /h)			
théorique		0,5	0,82	n/d
réel		0,4 - 0,45	0,75	0,42
Dépoussiérage préinstallé		électrofiltre par voie sèche (deux champs)	aucun	aucun
Particules				
en entrée	(mg/Nm ³)	env. 300	n/d	n/d
en sortie	(mg/Nm ³)	< 5	12 - 16	20
efficacité	(%)	> 99	n/d	> 99%
Élimination des dioxines			n/d	n/d
en entrée	(ng I-TEQ/Nm ³)	5 - 10		
en sortie	(ng I-TEQ/Nm ³)	0,02 - 1,0		
efficacité	(%)	98 - 99,6		
Élimination du HCl			n/d	n/d
en entrée	(mg/Nm ³)	26,6		
en sortie	(mg/Nm ³)	11,4		
efficacité	(%)	57		
Élimination du HF			n/d	n/d
en entrée	(mg/Nm ³)	5,9		
en sortie	(mg/Nm ³)	0,2		
efficacité	(%)	> 95		
Élimination des métaux lourds		En entrée	Emission	n/d
efficacité		(après électrofiltre)	l' (après le filtre en tissu)	
	mg/Nm ³	Al : 0,2	0,04	
		As : 0,009	0,0003	
		Cd : 0,076	0,001	
		Cr : 0,01	0,003	
		Cu : 0,93	0,003	
		Hg : 0,013	0,0013	
		Ni : 0,01	0,006	
		Pb : 13,4	0,02	
		Zn : 0,41	0,12	
Additifs	(mg/Nm ³)	Chaux éteinte (Ca(OH) ₂) : env. 450 Poudre de coke de lignite : env. 100	aucun	aucun
Produits résiduels				
génération	(kg/t d'aggloméré)	Ca. 1	n/d	n/d
réutilisation		recyclé vers l'installation d'agglomération	vers la fabrication de briquettes du four à oxygène	n/d
Type de tissu		Nomex, Rastex	Dacron	Nomex non tissé
Type de nettoyage		propulseur	inversement du flux d'air	propulseur
Chute de pression	mm colonne d'eau	150	75 - 180	75 - 100
Investissements	(1 x 10 ⁶ ECU ₁₉₉₆)	Filtre en tissu : 7,3 (en 1993) Appareil de dosage additif : 1,1	8 (en 1987)	5 (en 1991)
Coûts d'exploitation	(ECU ₁₉₉₆ /t d'aggloméré)	Énergie : 0,11 (en 1996) Autre : fortement dépendant du type et du moment d'exploitation du tissu	non séparé des autres coûts d'exploitation	n/d

n/d non disponible

* dans l'installation d'Inland Steel, East Chicago, Etats-Unis, un filtre en tissu est opérationnel depuis 1978 [PWS, 1987]. L'apport de battitures huileuses est limité à moins de 3 kg/t d'aggloméré afin de réduire les risques d'incendie dans le filtre en tissu. Une installation de déshuilage a été mise en œuvre il y a plus d'un an pour éliminer un important stock de réserve de battitures huileuses. Le processus a utilisé des solvants pour réduire la teneur en huile des battitures d'une valeur comprise entre 1 et 2 % à 0,1 %.

** dans l'installation d'agglomération de WCI, Youngstown Sinter Company, Warren, Ohio, Etats-Unis, un filtre en tissu a été mis en œuvre en 1991. Certains problèmes liés à l'incendie des manches des filtres ont été rencontrés.

Tableau 4.9 : Données d'exploitation et considérations économiques pour les filtres en tissu mis en œuvre dans les installations d'agglomération – d'après [InfoMil, 1997 ; Weiss, 1996]

EP.3 Cyclone

Description : Les cyclones effectuent une opération de séparation des particules par une action centrifugeuse. Comme ils reposent sur le principe de l'inertie, les cyclones ne sont des appareils de réduction efficaces que si les particules sont relativement grosses. Un multi cyclone applique le même principe en mettant en série des cyclones parallèles, afin d'obtenir une plus grande efficacité. Les cyclones sont parfois utilisés dans les installations d'agglomération comme des appareils de nettoyage intermédiaire des gaz, afin de protéger les équipements (p. ex. les conduits et les ventilateurs) des effets abrasifs des particules présentes dans les gaz résiduels.

Principaux niveaux d'émission atteints : Pour les particules inférieures à 10 μm , le rapport de [InfoMil, 1997] présente une efficacité d'élimination de 90 à 95 % obtenue grâce à l'utilisation d'un multicyclone. Toutefois, en raison de la taille relativement petite des particules présentes dans les gaz résiduels issus des installations d'agglomération, l'efficacité d'élimination que nous supposons ici est de 60 à 80 %. Par conséquent, les concentrations en sortie, issues des installations d'agglomération, sont comprises entre 300 et 600 mg/Nm^3 , en fonction de la concentration à l'entrée et de la répartition granulométrique.

Applicabilité : Applicable aussi bien aux installations nouvelles qu'aux installations déjà existantes.

Effets croisés : Une légère chute de pression (0,5 kPa) augmente la consommation d'énergie des pompes d'aspiration des gaz résiduels d'environ 200 kW pour une installation d'agglomération présentant un flux de gaz résiduels d'1 MNm^3/h et une production de 4 Mt d'aggloméré par an. Cela correspond à une valeur de 0,001 GJ/t d'aggloméré, soit moins de 0,1 % de la consommation d'énergie totale de l'installation d'agglomération. Par ailleurs, le flux de déchets solides généré est entièrement recyclé vers le processus d'agglomération.

Installations de référence : De nombreuses installations d'agglomération dans le monde utilisent les cyclones comme des appareils de réduction des grosses particules. Par exemple : Hoogovens, IJmuiden, IJmuiden, Pays-Bas ; Wakamatsu/Yawata Works, Nippon Steel Corporation, Japon.

Données opérationnelles : Le système fonctionne parfaitement dans des conditions abrasives et humides et réduit les concentrations de particules issues des installations d'agglomération avec une efficacité d'environ 60 à 80 %, en fonction du poids spécifique des poussières. Dans l'installation d'Hoogovens IJmuiden, une concentration en sortie de 300 mg/Nm^3 a été obtenue à l'aide d'un multi cyclone.

Aspects économiques : Les investissements sont estimés entre 500 et 750 ECU_{1996} pour 1 000 Nm^3/h [InfoMil, 1997]. Pour une installation d'agglomération générant un flux de gaz résiduels d'1 MNm^3/h , cela correspond à un investissement de 0,5 à 0,75 millions d' ECU_{1996} . Les coûts d'exploitation dépendent de la chute de pression et, par conséquent, des coûts énergétiques. Le chiffre mentionné est de 0,007 à 0,015 ECU_{1996} pour 1 000 Nm^3 traités. Pour l'installation d'agglomération mentionnée, cela représente un investissement total de 60 000 à 127 000 ECU_{1996} par an, ce qui correspond à un coût de 0,02 à 0,04 $\text{ECU}_{1996}/\text{t}$ d'aggloméré.

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

EP.4 Épurateur-laveur par voie humide, p. ex. Airfine

Description : Dans un épurateur-laveur, les particules présentes dans les gaz résiduels sont réduites en utilisant un liquide qui permet de stopper les particules. Le liquide contaminé est éliminé et (généralement) recyclé après traitement.

En raison de la forte concentration des hydrocarbures et des particules relativement fines présentes dans les gaz résiduels issus de l'installation d'agglomération, les épurateurs-laveurs traditionnels (p. ex. épurateurs de Venturi, épurateurs par colonne de pulvérisation) sont généralement incapables de réduire de façon significative les concentrations de particules. Les épurateurs-laveurs traditionnels ne sont pas utilisés dans les installations d'agglomération en Europe.

Récemment, un nouveau type d'épurateur-laveur a été développé : l'épurateur-laveur hautes performances, commercialisé sous le nom d'AIRFINE.

Les principaux composants de ce système de nettoyage des gaz (Figure 4.22) comprennent :

- un séparateur électrostatique (ESP) pour l'élimination des grosses poussières,
- un système de refroidissement des gaz résiduels et de saturation en humidité,
- un système d'épuration fine pour la séparation des poussières fines et le nettoyage simultané des gaz,
- une installation de traitement des eaux pour la séparation et la récupération des sous-produits.

Au cœur de ce processus se trouve le système d'épuration fine, où des buses à double flux éjectent de l'eau et de l'air comprimé sous forme de pulvérisateurs brumisateurs haute pression dans le courant de gaz résiduels refroidi.

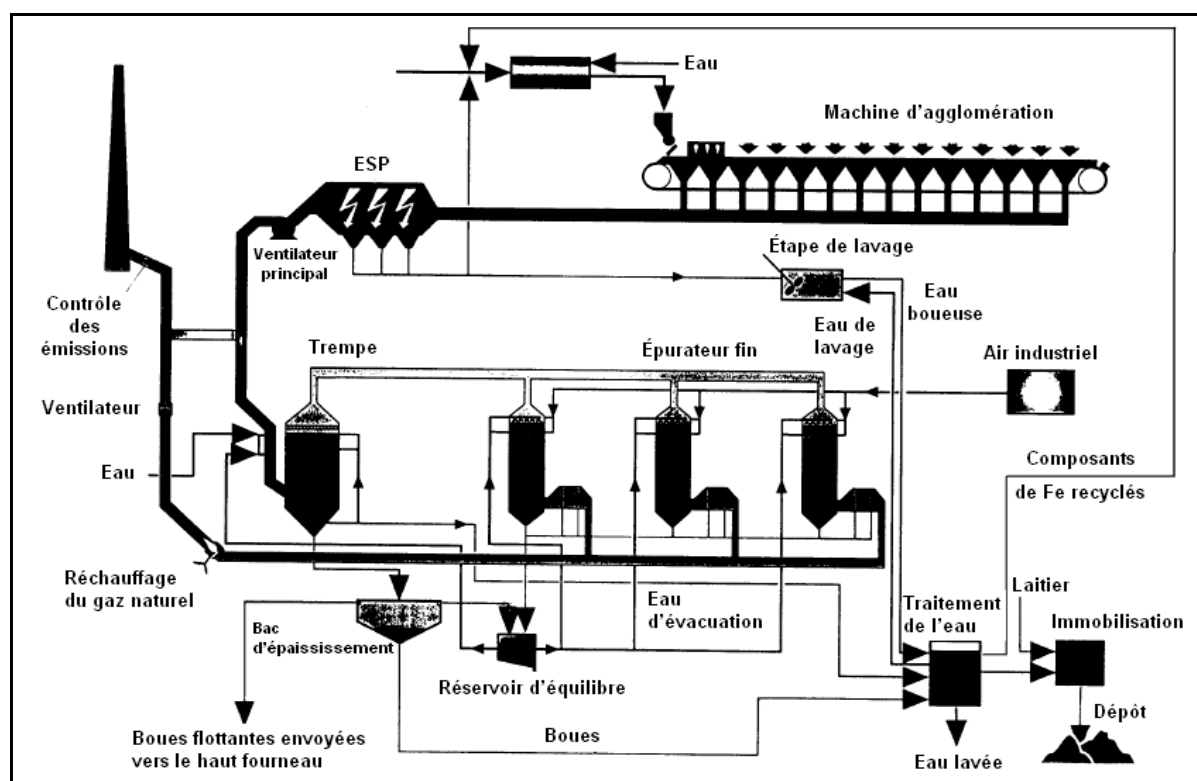


Figure 4.22 : Traitement des gaz résiduaires issus de l'installation d'agglomération de Voest-Alpine Stahl AG, Linz, Autriche, avec le système d'épuration fine

L'épurateur-laveur AIRFINE permet simultanément l'élimination des particules de poussières les plus fines (y compris les chlorures alcalins et les chlorures de métaux lourds – voir partie 4.2.2.1.2.2) et des composés nocifs présents dans les gaz résiduaires. Ces derniers (PCDD/F, métaux lourds, PAH) sont le plus souvent associés aux poussières fines. Comparé aux systèmes de réduction par voie sèche, ce système peut également éliminer les composés hydrosolubles tels que les chlorures alcalins (voir partie 4.2.2.1.2.2) et les chlorures de métaux lourds (voir partie 4.2.2.1.2.3). Dans le cas où des alcalins seraient ajoutés dans l'eau de lavage, les composés acides tels que le HF, le HCl et le SO₂ peuvent être éliminés de façon significative. La solution aqueuse de l'épurateur-laveur, qui contient des sels alcalins et des sels de métaux lourds, est ensuite traitée par précipitation et par floculation (Figure 4.23). Les solides sont désactivés par le laitier puis mis en décharge dans des zones sécurisées. Le surplus est neutralisé et acheminé à travers plusieurs lits de gravier avant d'être mis en décharge dans le système d'égouts de la ville.

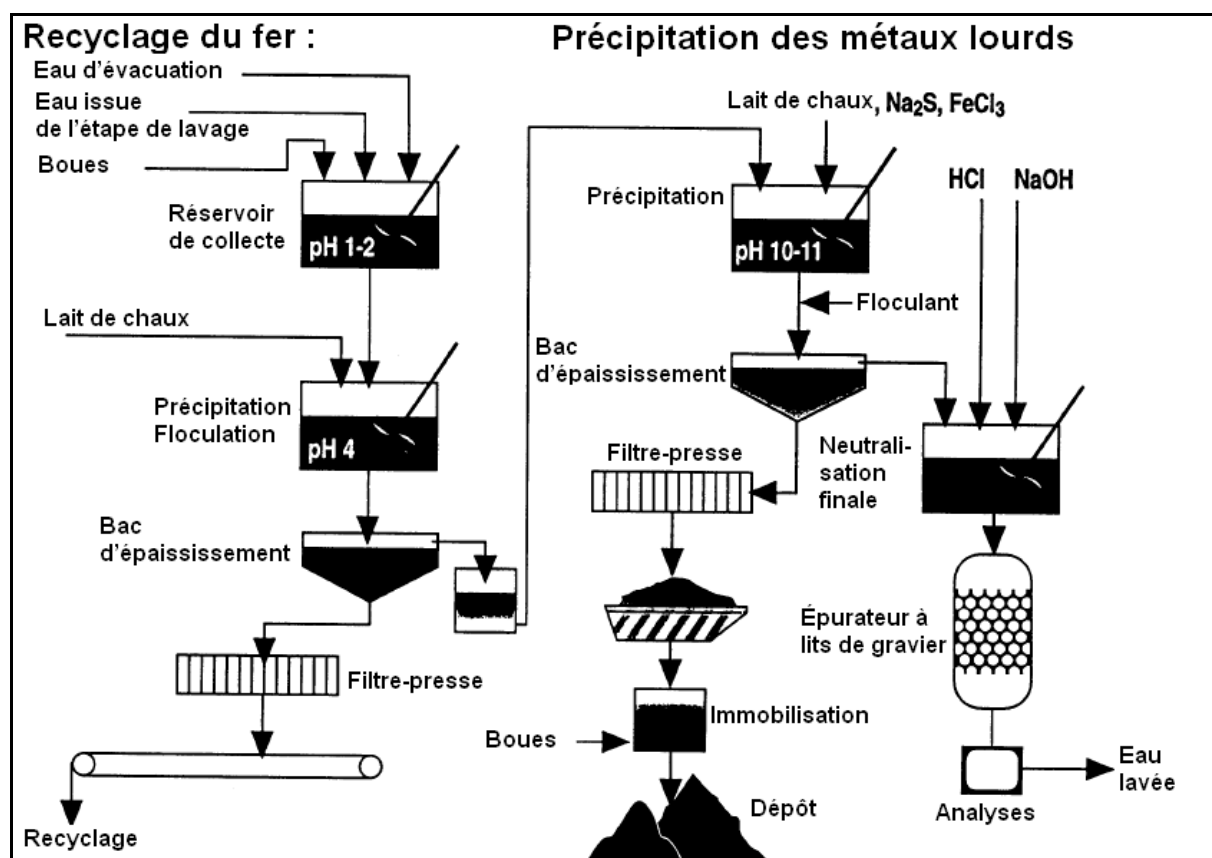


Figure 4.23 : Traitement de l'eau de lavage issue du système d'épuration fine et de l'eau issue de l'extraction des poussières filtrées par un électrofiltre dans l'installation de Voest-Alpine Stahl AG, Linz, Autriche

Les poussières filtrées issues de l'électrofiltre sont extraites avec de l'eau recyclée (Figure 4.22) afin d'éliminer les sels alcalins et de métaux lourds hydrosolubles. Les poussières filtrées extraites sont entièrement recyclées vers la chaîne d'agglomération.

Principaux niveaux d'émission atteints :

L'une des deux installations commerciales a été mise en œuvre à Voest-alpine Stahl, Linz, Autriche, en 1993 et la seconde a été installée à Hoogovens IJmuiden, IJmuiden, Pays-Bas, au printemps 1998. Une troisième installation devrait voir le jour à BHP-ISD, Whyalla, Australie. Les concentrations et les facteurs d'émission atteints sont indiqués au Tableau 4.10. Les émissions de particules sont inférieures à 50 mg/Nm^3 , ce qui correspond à une efficacité d'élimination des particules d'environ 95 %. L'efficacité d'élimination réelle est liée à l'apport d'énergie (air comprimé pour la pulvérisation). Actuellement, la consommation d'électricité est de 39 MJ/t d'aggloméré et 79 MJ/t pour réchauffer les gaz résiduels avant la mise en décharge. Il convient de noter que la séparation des grosses poussières est réalisée à l'aide d'un électrofiltre préinstallé avec une concentration en sortie comprise entre 150 à 250 mg/Nm^3 . La chute de pression mesurée varie entre 8 et 15 mbar.

Cette technique est également efficace pour éliminer les PCDD/F. Dans des conditions normales d'exploitation, une concentration de $0,4 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$ est garantie et réalisable, ce qui correspond à une efficacité d'environ 95 % pour un apport de 8 ng I-TEQ/Nm^3 . Aucun additif (carbone actif) n'est ajouté pour obtenir cette valeur. Par ailleurs, entre 80 et 95 % du HCl et du HF sont éliminés. Les émissions de SO_2 peuvent être éliminées de façon très efficace si des installations permettant l'injection d'additifs sont mises en œuvre (voir EP.5 et le point 8 de la conclusion des MTD – Réduction au minimum des émissions de SO_2). Les concentrations des métaux lourds sont également réduites efficacement (à plus de 90 %), grâce à leur hydrosolubilité. Cette technique présente des niveaux d'efficacité bien plus élevés que ceux atteints avec l'électrofiltre (voir Tableau 4.1). La concentration des polluants apolaires tels que le PAH est également réduite grâce à l'élimination efficace des poussières fines.

Composant	Concentration d'émission atteinte [mg/Nm^3]	Facteur d'émission atteint avec $2\ 200 \text{ Nm}^3/\text{t}$ [g/t d'aggloméré]	Efficacité d'élimination [%]	Méthode de mesure
Particules	48	110	95,2	VDI 2066 B13
As	<0,001	<0,002	87	VDI 3868
Cd	0,003	0,0067	92	VDI 3868
Co	<0,001	<0,002	95	VDI 3868
Cr	0,002	0,0045	92	VDI 3868
Cu	0,02	0,044	96	VDI 3868
Hg	0,01	0,02	96	VDI 3868
Mn	0,01	0,02	93	VDI 3868
Ni	<0,001	<0,002	95	VDI 3868
Pb	0,05	0,1	96	VDI 3868
Sb	<0,001	<0,002	87	VDI 3868
Se	0,001	0,002	90	VDI 3868
Tl	0,002	0,0045	93	VDI 3868
V	<0,001	<0,002	87	VDI 3868
Zn	0,001	0,002	94	VDI 3868
HCl	26,5	60	96	VDI 3480 B11
HF	0,6	1,3	95	VDI 2470 B11
SO_2	370	820	10	Infrarouge
COV (mesure par le détecteur à ionisation de flamme)	11	25	50-60	Instruction UBA EM-K1
PAH (EPA 16)	$50 \mu\text{g/Nm}^3$	110 mg/t	n/d	Méthode EPA
PCDD/F	$0,4 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$	$1,0 \mu\text{g I-TEQ/t}$	94	VDI 3499 B11

n/d = non disponible

Tableau 4.10 : Concentrations et facteurs d'émission atteints par le système AIRFINE dans l'installation de Voest-Alpine Stahl, Linz, Autriche

Les concentrations et facteurs d'émission des eaux usées atteints par le biais de l'épuration fine et de l'extraction des poussières filtrées par l'électrofiltre après traitement (précipitation et floculation) sont indiqués dans le Tableau 4.11.

Composant	Concentration atteinte [mg/l]	Facteur d'émission atteint [mg/t d'aggloméré]	Efficacité d'élimination [%]	Méthode de mesure
Eaux usées traitées (débit)	14,2 m ³ /h	0,064 m ³ /t d'aggloméré	-	induction
pH	8,8-9,3			DIN 384
Matières en suspension	8	0,5	99,6	DIN 38409-H2
Al	0,28	0,018	98	DIN 38406
As	0,001	0,00006	99	DIN 38406
Cd	0,002	0,00013	99	DIN 38406
Cr	0,009	0,0006	95,5	DIN 38406
Cu	0,062	0,004	99	DIN 38406
Fe	0,23	0,014	99,9	DIN 38406
Hg	0,001	0,00009	99,8	DIN 38406
Ni	0,048	0,003	99	DIN 38406
Pb	0,006	0,004	99,9	DIN 38406
Zn	0,026	0,0016	99	DIN 38406
Chlorure	4770	310	-	DIN 38405-D1
Sulfate	2420	160	20	DIN 38405-D5
Fluorure	6,7	0,43	81-90	DIN 38405-D4
Sulfure	0,06	0,004	-	DIN 38405-D26
Nitrate de cellulose volatil	0,02	0,0013	-	DIN 38405-D13
Nitrate d'ammonium	110	7,1	-	DIN 38406-E5
Azote des nitrates	17	1,1	-	DIN 38405-D9
Azote des nitrites	0,64	0,04	-	DIN 38405-D19
Carbone organique total	17	1,1	-	DIN 38409-H3

Tableau 4.11 : Les concentrations et facteurs d'émission des eaux usées traitées par le biais de l'épuration des gaz résiduels et de l'extraction des poussières filtrées par l'électrofiltre dans l'installation de Voest-Alpine Stahl, Linz, Autriche (valeurs moyennes)

Applicabilité : Applicable aussi bien dans les nouvelles installations que dans les installations déjà existantes. Toutefois, il faut noter que l'applicabilité est spécifique pour chaque site.

Effets croisés : Le flux d'eaux usées contaminé généré doit être traité. Les boues issues du traitement des eaux usées doivent être mises en décharge dans une zone sécurisée.

Dans l'installation de Hoogovens IJmuiden, IJmuiden, Pays-Bas, le volume du flux d'eau refroidie est de 800 m³/h et celui des eaux usées de 50 m³/h.

Le système d'épuration fine génère une demande énergétique relativement importante. Cette énergie est destinée à l'épurateur-laveur lui-même et au réchauffage des gaz résiduels traités avant leur mise en décharge.

Installations de référence : Installation d'agglomération de Voest-Alpine Stahl Linz AG, Linz, Autriche, en fonctionnement depuis 1993 ; installation d'agglomération de Hoogovens IJmuiden, IJmuiden, Pays-Bas, en fonctionnement depuis mai 1998 ; cette dernière inclut également un système de désulfuration.

Aspects économiques :

Voest-Alpine Stahl Linz AG, Linz, Autriche :

Investissements : 39,2 millions d'ECU₁₉₉₆ (investissement total qui comprend l'installation, l'ingénierie, etc. Ces coûts relativement élevés résultent du fait que la première installation était une installation pilote.)

Données d'exploitation : Les coûts de consommables énergétiques sont également très importants. Par ailleurs, un ouvrier est nécessaire par opération pour le traitement des eaux usées et la maintenance (1,5 % des investissements). Les coûts d'exploitation, hors coûts énergétiques, s'élèvent à 280 000 ECU₁₉₉₇ par an.

Hoogovens IJmuiden, IJmuiden, Pays-Bas :

Investissements : Environ 40 millions d'ECU₁₉₉₇, ce qui inclut également les investissements d'infrastructure.

Données d'exploitation : En fonctionnement depuis mai 1998 ; les gaz résiduaux issus de trois chaînes d'agglomération (au total 550 000 m³/h) y sont traités.

Les coûts réels diffèrent fortement en fonction de l'installation et des exigences locales liées aux services de traitement des eaux usées.

Données opérationnelles : Dans l'installation d'agglomération de Voest-Alpine Stahl Linz AG, Linz, Autriche, un système d'épuration hautes performances a été mis en service en août 1993 sous le nom d'AIRFINE. L'épurateur-laveur est installé en aval du séparateur de grosses poussières (électrofiltre) et traite 600 000 Nm³/h pour une production d'aggloméré de 270 t/h. Actuellement, le système offre une fiabilité et une efficacité remarquables.

La demande énergétique s'élève à environ 2 MW pour la compression de l'air et les pompes d'épuration. La demande spécifique d'énergie électrique additionnelle atteint environ 39 MJ/t d'aggloméré, ce qui représente une augmentation d'environ 35 %. Par ailleurs, 650 Nm³/h (79 MJ/t d'aggloméré) de gaz naturel sont utilisés pour le réchauffage des gaz après l'épuration. Le réchauffage dépend des réglementations locales et n'est pas spécifique pour cette technique.

Les boues ferreuses sont recyclées vers l'installation d'agglomération. Les boues contaminées par les métaux lourds sont conditionnées puis mises en décharge (0,5 t de matières sèches par jour).

Le flux d'eau de refroidissement (pour l'étape du compresseur d'air industriel) est de 200 à 300 m³/h, en fonction des conditions d'exploitation.

Documents de référence : [Gebert, 1995]

EP.5 Désulfuration par voie humide

Description : Il existe des processus de désulfuration par voie humide et par voie sèche, mais nous considérerons ici uniquement le système par voie humide. Après le refroidissement des gaz résiduels, le SO_2 est absorbé dans une tour de pulvérisation avec une solution contenant du calcium (Ca) ou du magnésium (Mg). Ils sont transformés en sulfate de chaux (CaSO_4) ou en sulfate de magnésium (MgSO_4), éliminés de la colonne sous forme de boues. Plusieurs agents réactifs peuvent être utilisés :

- du laitier d’acier (processus de désulfuration par du laitier d’acier (SSD)). Le laitier d’acier, qui contiennent 30 à 40 % de CaO, sont pulvérisées, mélangées dans l’eau et ajoutées sous la forme de boues contenant du Ca(OH)_2 ,
- de la chaux éteinte (Ca(OH)_2),
- du CAL. Chlorure de calcium (CaCl_2) et de la chaux éteinte (Ca(OH)_2),
- de la chaux éteinte (Ca(OH)_2) et de la craie (CaCO_3),
- de l’hydroxyde de magnésium (Mg(OH)_2).

L’eau est éliminée du sulfate de chaux. La qualité du sulfate de chaux dépend largement de l’efficacité de l’appareil de réduction des particules préinstallé. Dans certains pays, le sulfate de chaux peut être vendu à l’industrie de fabrication du ciment.

L’eau est séparée des boues de sulfate de chaux et généralement mise en recirculation. En raison de la formation de chlorure, une purge d’épuration de l’eau est effectuée. Par conséquent, le système génère aussi bien des déchets solides (sulfate de chaux) que des eaux usées.

Lorsque NH_4OH est utilisé comme agent réactif, une solution de NH_4HSO_3 est générée. Cette solution est traitée par une oxydation par voie humide dans l’installation de traitement des gaz du four de coke. Du sulfate d’ammonium ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) est produit.

La désulfuration par voie humide peut être également effectuée par un système d’épuration fine (voir EP.4).

Principaux niveaux d’émission atteints : Des valeurs d’efficacité de désulfuration supérieures à 90 % peuvent être facilement atteintes. Des valeurs comprises entre 95 et 99 % ont déjà été relevées. Par ailleurs, le HCl, le HF et les particules sont éliminés des gaz résiduels. Le système n’élimine pas le NO_x [InfoMil, 1997].

Applicabilité : Peut être appliqué aussi bien aux installations nouvelles qu’aux installations déjà existantes, bien que les exigences au niveau spatial puissent poser problème.

Effets croisés : Des boues contenant du sulfate de chaux sont générées. La mise en décharge du sulfate de chaux peut présenter des problèmes importants. Dans certains pays où il n’existe aucun marché pour le sulfate de chaux, le matériau déshumidifié doit être mis en décharge comme un déchet actif, qui requiert une plus ample stabilisation avant sa mise en décharge et provoque en parallèle des coûts de mise en décharge plus élevés. Même dans les pays où il existe un marché du sulfate de chaux, la contamination du produit par des particules le rend moins attractif et il risque de devoir être mis en décharge. Par ailleurs, un traitement additionnel des eaux usées est nécessaire lorsque l’unité élimine également les particules.

Dans certains cas, le sulfate de chaux est séparé avec d’un côté la partie contaminée (10 %) qui est mise en décharge, et de l’autre la partie « propre » (90 %) qui est vendue. Tel est le cas de

l'installation de Thyssen Stahl AG, Duisburg [Info Mil, 1997]. Le design de l'unité de désulfuration détermine la possibilité de séparer le flux de sulfate de chaux.

La majeure partie des eaux boueuses peut être mise en recirculation, notamment lorsqu'un appareil de réduction des particules est mis en œuvre en aval de l'unité de désulfuration. Une purge est généralement nécessaire afin d'éviter la formation de chlorure. Des purges de l'ordre de 5 à 20 m³/h ont été relevées. Toutefois, dans certains cas, aucune purge n'est effectuée et l'eau est remplacée.

La consommation d'électricité est estimée entre 6,1 et 7,2 MJ/t d'aggloméré. Par ailleurs, les gaz résiduels nettoyés doivent être réchauffés avant d'être rejetés afin d'obtenir un relèvement suffisant des panaches. Dans certains cas, les gaz des fours à coke sont utilisés à cet effet et parfois, le CO présent dans les gaz résiduels d'une installation d'agglomération subit une combustion catalytique.

La consommation de chaux éteinte dépend de la concentration de SO₂ en entrée, du volume des gaz résiduels traités et du degré d'efficacité désiré. Une consommation de 3 à 4 kg de chaux éteinte (Ca(OH)₂) par m³ de SO₂ a été relevée dans l'installation de Wakamatsu Works, NSC, Japon.

Installations de référence : Le Tableau 4.12 indique le nombre d'installations d'agglomération qui appliquent le principe de désulfuration par voie humide. Il convient de préciser que l'installation de Thyssen Stahl AG, qui a mis en œuvre le processus Mitsubishi est la seule installation de désulfuration qui traite les gaz résiduels des installations d'agglomération en Europe. L'installation de Thyssen traite une partie sélectionnée du flux de gaz résiduels (la partie présentant une concentration élevée en SO₂) (voir Figure 4.8) et ne fonctionne que lorsque les normes locales de qualité de l'air sont dépassées. Il est indiqué que cette installation n'a pas fonctionné une seule fois au cours des deux dernières années (1997 et 1998), ce qui rend cette méthode de réduction du SO₂ très onéreuse.

Entreprise	Usines	N° de l'installation	Volume de gaz traité (théorique) (1 x 10 ⁶ Nm ³ /h)	Agent réactif
Nippon Steel Corporation	Wakamatsu/Yawata Sakai		1	chaux éteinte
			1	surface saturée sèche SSD (scorie d'acier)
Nippon Kokan KK	Fukuyama Keihin		0,76	NH ₄ OH
			1,2 - 1,3	NH ₄ OH
Kawasaki Steel Corporation	Chiba	installation d'agglomération n° 4	0,62 - 0,75	chaux éteinte
	Chiba	installation d'agglomération n° 3	0,32	chaux éteinte
	Mizushima	3 installations d'agglomération	0,75 ; 0,75 ; 0,9	chaux éteinte
Kobe Steel Ltd.	Kakogawa		1	CAL*
	Kobe		0,35	CAL*
Sumitomo Metal Industries	Wakayama	installation d'agglomération n° 5	0,4	chaux éteinte et craie
	Kashima	2 installations d'agglomération	0,88 ; 0,2	chaux éteinte et craie
	Kokura		0,32	hydroxyde de magnésium
Thyssen Stahl AG	Duisburg	installation d'agglomération n° 4	0,32	chaux éteinte et craie

* CAL : chlorure de calcium et chaux éteinte

Tableau 4.12 : Unités de désulfuration par voie humide dans les installations d'agglomération – [InfoMil, 1997]

Données opérationnelles et aspects économiques : Le Tableau 4.13 donne un aperçu général des données d'exploitation et des considérations économiques liées à cinq unités de désulfuration. Toutes ces unités ont été mises en œuvre afin de répondre aux réglementations environnementales imposées par les autorités locales. Aucune difficulté d'exploitation spécifique n'a été relevée.

Les valeurs d'efficacité de désulfuration indiquées dans le tableau ne prennent pas en compte les temps d'arrêt de l'installation et correspondent donc à une exploitation menée 24 heures sur 24. Par conséquent, en pratique, les valeurs globales d'efficacité devraient être bien plus faibles. Comme nous l'avons indiqué précédemment, la vente du sulfate de chaux produit n'est pas systématiquement possible dans tous les pays d'Europe, ce qui entraîne des problèmes de mise en décharge.

Données économiques supplémentaires :

[InfoMil, 1997] indique les coûts suivants pour les équipements de désulfuration par voie humide :

Investissement : 50 à 80 ECU₁₉₉₆/(Nm³/h) ;

Exploitation : 0,5 à 1,0 écu₁₉₉₆ par kg de SO₂ éliminé.

Pour une installation d'agglomération présentant une capacité de 4 Mt/an, un flux de gaz résiduaire d'1 million Nm³/h, 8 640 heures d'exploitation par an, une émission de SO₂ non traité de 1 200 g/t d'aggloméré et une efficacité de désulfuration de 90 %, cela correspondrait aux coûts suivants :

Investissement : 50 à 80 millions d'ECU₁₉₉₆ ;

Exploitation : 0,5 à 1,1 écu₁₉₉₆/t d'aggloméré.

En raison du niveau relativement élevé des investissements (supérieur au coût d'une nouvelle installation d'agglomération) et parce que ces investissements dépendent largement du flux de gaz résiduaire, il pourrait être profitable de limiter la désulfuration aux sections de gaz résiduaire présentant la concentration de soufre la plus élevée (voir Figure 4.8) et de concentrer les efforts pour abaisser le volume de soufre entrant dans le processus (voir PI.4).

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

Chapitre 4

	Unité	Thyssen Stahl AG Duisburg	Kawasaki Steel Corp. Chiba	Nippon Kokan KK Keihin	Nippon Steel Corp. Wakamatsu/Yawata	Sumitomo Metal Ind. Wakayama
Production d'aggloméré	(t/h)					
théorique		400	290	500	1000	n/d
réelle		375	180	n/d	600	185
Flux de gaz résiduaires total	(10 ⁶ Nm ³ /h)					
théorique		0,32	0,62-0,75	1,2-1,3	2	n/d
réel		0,24	0,38	n/d	1	0,4
Basicité de l'aggloméré	(CaO/SiO ₂)	1,75-2,1	1,8	1,8	1,92	2,2
Capacité de désulfuration	(10 ⁶ Nm ³ /h)					
théorique		0,32	0,62-0,75	1,2-1,3	1 (élimination partielle de SO _x)	n/d (élimination partielle de SO _x)
réelle		0,1 (élimination partielle de SO _x)	0,38	n/d	0,45 - 0,51 (élimination partielle de SO _x)	0,2 (élimination partielle de SO _x)
Dépoussiérage préinstallé						
type		électrofiltre par voie sèche à 3 champs	électrofiltre par voie sèche	électrofiltre par voie sèche	cyclone	électrofiltre par voie sèche
gaz propre	(mg/Nm ³)	130 - 140	70 - 80	50	n/d	40
Agent réactif		chaux éteinte et craie	chaux éteinte	NH ₄ OH	chaux éteinte	chaux éteinte et craie (50 % / 50 %)
Concentration de SO ₂ en entrée	(mg/Nm ³)					
théorique		1 500	880-1170	n/d	1140	1830
réelle		n/d	370	560-840	513-684	730-940
Concentration de SO ₂ en sortie	(mg/Nm ³)					
théorique		<150	30	n/d	<110	370
réelle		<30	9	3-9	6-29	n/d
Efficacité de désulfuration	(%)					
théorique		>90	96-98	n/d	90	80
réelle		>98	98	>99	95-98	n/d
Sous-produit						
type		sulfate de chaux	sulfate de chaux	Sulfate d'ammonium	sulfate de chaux	sulfate de chaux
quantité	(kg/t d'aggloméré)	0,9	2,3	n/d	1,0 - 1,34	4,5
processus		90 % vendu ; 10 % mis en décharge	vendu	vendu	Vendu	le plus souvent mis en décharge
Demande énergétique	(GJ/t d'aggloméré)	n/d	n/d	n/d	0,0061 - 0,0072 (électricité) (< 0,3 % de la consommation totale d'énergie)	n/d
Investissement	(10 ⁶ ECU ₁₉₉₆)	13 (en 1980)	26 (en 1976)	n/d	n/d	19,4 (en 1976)
Coûts d'exploitation	(ECU ₁₉₉₆ /t d'aggloméré)	0,6 (en 1986)	2,1 (en 1986) ; sans dépréciation	n/d	0,016 (en 1986) ; uniquement maintenance	0,62 (en 1986) ; sans maintenance, sans dépréciation
n/d	non disponible					

Tableau 4.13 : Données d'exploitation et considérations économiques de plusieurs unités de désulfuration par voie humide dans des installations d'agglomération – [InfoMil, 1997]

EP.6 Régénération au charbon actif (RAC)

Description : Les techniques de désulfuration par voie sèche reposent sur l'adsorption du SO_2 par le charbon actif. Lorsque le charbon actif chargé en SO_2 est régénéré, le système est appelé « régénération au charbon actif » (RAC). Dans ce cas, un type de charbon actif onéreux et de très bonne qualité peut être utilisé et l'acide sulfurique (H_2SO_4) obtenu devient un sous-produit. Le lit est régénéré soit avec de l'eau, soit de façon thermique. Cette technique est appliquée dans les incinérateurs d'ordures municipaux, dans les raffineries, dans les centrales électriques et dans une installation d'agglomération.

Dans certains cas, on utilise du charbon actif basé sur du lignite. Le charbon actif chargé en SO_2 est alors généralement incinéré dans des conditions contrôlées. Cette technique est habituellement appliquée uniquement pour le « réglage de précision » du courant aval d'une unité de désulfuration déjà existante.

Le processus RAC permet d'éliminer plusieurs composés des gaz résiduels : SO_2 , HCl , HF , mercure (Hg) et (en option) NO_x . Le système peut être développé comme un processus en 1 ou en 2 étapes. Lors d'un processus en 1 étape, les gaz résiduels traversent le lit de charbon actif. Les polluants sont adsorbés par le charbon actif. L'élimination du NO_x n'a lieu que lorsque de l'ammoniac est injecté dans le flux de gaz avant qu'il n'atteigne le lit catalytique.

Dans un processus en 2 étapes, les gaz résiduels traversent deux lits de charbon actif. L'ammoniac peut être injecté avant que le lit ne réduise les émissions de NO_x .

Principaux niveaux d'émission atteints : Il est possible d'atteindre une désulfuration très efficace (supérieure à 95 %). L'efficacité de dénitrification peut également atteindre des valeurs élevées, de l'ordre de 80 à 90 %, en fonction de la température d'exploitation, de l'addition de NH_3 et de la conception. Ces valeurs d'efficacité ne prennent pas en compte les temps d'arrêt de l'installation et correspondent donc à une exploitation menée 24 heures sur 24. Par conséquent, les valeurs d'efficacité réelle devraient être bien plus faibles.

Applicabilité : Le processus RAC peut être appliqué comme une technique en fin de process aussi bien dans les installations nouvelles que dans les installations déjà existantes. Le processus est généralement mis en œuvre pour éliminer simultanément plusieurs composés issus des gaz résiduels (p. ex. SO_2 , HF , HCl , NO_x). Les plans de l'installation et les exigences au niveau spatial sont des facteurs importants à prendre en considération pour la mise en œuvre de cette technique.

Effets croisés : Lorsque le processus RAC est appliqué, la consommation totale d'énergie par tonne d'aggloméré augmente et un petit flux d'eau est généré. Dans une aciérie intégrée, le flux d'eau peut être traité dans l'installation de traitement des eaux usées déjà existante dans le cas où une installation adaptée existe ou dispose d'une localisation adéquate. Dans le cas contraire, il faut prévoir des coûts additionnels pour le traitement adapté des eaux usées. Le processus entraîne la production d'un sous-produit, l'acide sulfurique.

Le processus n'entraîne en revanche pas la production de déchets solides, car le charbon actif est régénéré et en partie brûlé. La consommation d'électricité atteint 1 200 kW ou 8,6 MJ/t d'aggloméré (environ 0,4 % de la consommation totale d'énergie d'agglomération).

Lorsque le processus non génératif est appliqué, la consommation totale d'énergie par tonne d'aggloméré augmente et des déchets solides contaminés sont produits, qu'il convient ensuite de traiter correctement.

Installations de référence : Le processus RAC a été mis en œuvre dans l'installation d'agglomération n° 3, Nagoya Works, Nippon Steel Corporation, au Japon, en août 1987.

Données opérationnelles : L'installation d'agglomération dispose d'une capacité de 12 000 tonnes d'aggloméré par jour, avec un flux de gaz résiduaux de 900 000 Nm³/h. En 1991, la basicité de l'aggloméré était comprise entre 1,72 et 2,1. Le processus RAC était conçu sous la forme de deux tours d'absorption parallèles en 1 étape, présentant chacune une capacité de 450 000 Nm³/h. Avant la désulfuration, les particules sont éliminées dans un cyclone, puis dans un électrofiltre (concentration des gaz nettoyés : entre 20 et 30 mg/Nm³). Les concentrations de SO₂ en entrée étaient de 360 mg/Nm³ et les valeurs d'efficacité de désulfuration relevées atteignaient 97 %. Cela correspondrait à une concentration en sortie de 11 mg/Nm³. Les concentrations en sortie des particules sont comprises entre 15 et 20 mg/Nm³ (taille des particules comprise entre 2 et 4 µm ; 60 % de charbon). La dénitrification n'est appliquée que dans l'une des deux tours d'absorption, par l'injection de NH₃. L'efficacité d'élimination du NO_x est faible, de l'ordre de 15 % (ou de 30 % pour une élimination dans une tour d'absorption avec injection de NH₃), en fonction de l'injection de NH₃.

Le charbon actif chargé en SO₂ est régénéré par un traitement thermique entre 380 et 430 °C. Le charbon est chauffé indirectement par un réchauffeur alimenté par les gaz d'un four à coke. Le nitrogène (N₂) est ajouté (500 m³/h). Le gaz à forte teneur en SO₂ (15 %) saturé en eau est amené dans l'installation d'acide sulfurique du traitement des gaz de four à coke. Le charbon régénéré est criblé et ramené vers les lits d'adsorption. Les particules fines sont utilisées comme charge d'alimentation pour l'installation d'agglomération. Ces solutions sont spécifiques à l'installation considérée et ne sont pas forcément applicables à toutes les installations. La consommation de charbon actif atteint 150 kg/h. La consommation de vapeur (40 bars) est de 600 kg/h et la consommation d'eau atteint 0,08 m³/h.

Il convient de prêter une attention toute particulière à la température (inférieure à 140 °C) et la concentration de particules (maxi. 50 mg/Nm³) des gaz résiduaux en entrée.

Aspects économiques :

Les investissements (à l'exception de l'installation d'acide sulfurique et de l'installation de traitement des eaux usées) ont atteint environ 21 millions d'ECU₁₉₉₆ en 1987. En 1991, les investissements de l'installation Voest-Alpine Stahl AG, Linz, Autriche, étaient estimés à environ 73 millions d'ECU₁₉₉₇ pour une installation RAC.

Les coûts d'exploitation (à l'exception de la maintenance et de la dépréciation) étaient de 0,75 ECU₁₉₉₆ par tonne d'aggloméré en 1991. Les coûts de maintenance sont estimés à 0,17 ECU₁₉₉₆ par tonne d'aggloméré (750 000 ECU₁₉₉₆ par an).

Il faut noter que ces données concernent une installation RAC pour l'élimination combinée de SO₂ et de NO_x.

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

EP.7 Réduction catalytique sélective (SCR)

Description : Lors de ce processus, le NO_x présent dans les gaz résiduels est réduit par voie catalytique par de l'ammoniac (NH_3) ou de l'urée pour former du N_2 et de l' H_2O . L'anhydride vanadique (V_2O_5) ou l'oxyde de tungstène (WO_3) liés à un support d'oxyde de titane (TiO_2) sont souvent utilisés comme catalyseurs. D'autres catalyseurs tels que l'oxyde de fer et le platine peuvent être utilisés. Les températures d'exploitation optimales sont de l'ordre de 300 à 400 °C.

Le processus SCR peut être exploité comme un système « high-dust », « low-dust » ou comme un système de lavage des gaz ; chaque système présente ses propres caractéristiques. Jusqu'à présent, seuls des systèmes de lavage des gaz ont été mis en œuvre dans des installations d'agglomération.

Il convient de prêter une attention plus particulière à la désactivation du catalyseur, à l'accumulation de nitrate d'ammonium (NH_4NO_3) explosif, au dégagement d'ammoniac et à la formation de SO_3 corrosif.

Habituellement, les gaz résiduels doivent être réchauffés avant d'entrer dans l'appareil SCR afin d'atteindre la température d'exploitation requise.

Applicabilité : Peut être appliqué comme technique en fin de process aussi bien dans les nouvelles installations que dans les installations déjà existantes. Dans les installations d'agglomération, seuls des « systèmes de lavage des gaz », qui interviennent après le dépoussiérage et la désulfuration, ont été mis en œuvre. Il est indispensable que les gaz soient très propres (moins de 40 mg de poussières par Nm^3) et qu'ils présentent une température minimale d'environ 300 °C. Cela nécessite un apport

Principaux niveaux d'émission atteints : Une efficacité de réduction de NO_x de plus de 90 % peut être atteinte dans les installations d'agglomération, en fonction du type de catalyseur, de la température d'exploitation et de l'addition de NH_3 .

Effets croisés : Comme le système SCR est une technique par voie sèche, il n'y a aucune émission dans l'eau. Les seuls déchets générés sont les catalyseurs désactivés, qui peuvent subir un nouveau traitement par le fabricant. Cette technique implique de stocker et d'utiliser l'ammoniac, mais pas nécessaire sous forme d'ammoniac liquide ; l'urée ou des solutions à base d'ammoniac peuvent également être utilisées.

La consommation d'énergie globale augmente lorsque les gaz résiduels doivent être réchauffés avant d'entrer en contact avec le catalyseur. Cela diminue les possibilités de récupération de la chaleur sensible lors du processus d'agglomération. Par ailleurs, l'appareil SCR consomme de l'énergie électrique.

Installations de référence :

1. Installation d'agglomération, Kawasaki Steel Corporation, Chiba Works, Japon
2. Installation d'agglomération, Nippon Kokan, Keihin Works, Japon
3. Installations d'agglomération 3 & 4, China Steel, Taiwan

Données opérationnelles :

Installation d'agglomération, Kawasaki Steel Corporation, Chiba Works, Japon

1. Un système SCR a été installé dans l'installation d'agglomération Kawasaki Steel Corporation, Chiba Works, en 1975, pour réduire les émissions de NO_x . L'installation d'agglomération dispose d'une capacité de 7 000 t d'aggloméré par jour et produit un flux de gaz résiduels compris entre 620 000 et 750 000 Nm^3/h . Les émissions de NO_x sont passées de 450 mg/Nm^3 à 37 mg/Nm^3 via

un catalyseur de platine (Pt), ce qui a permis d'atteindre une efficacité de réduction supérieure à 90 %. Le système SCR fonctionne comme un « système de lavage des gaz », ce qui signifie que l'appareil SCR est installé après les étapes de dépoussiérage et de désulfuration.

Le système SCR peut être exploité à des températures de 260 °C ou de 400 °C. A une température de 260 °C, le catalyseur doit être revitalisé plusieurs fois par an par un traitement thermique. A cette température, l'efficacité de 90 % ne peut être obtenue qu'en ajoutant du NH_3 à hauteur de 1,2 fois le ratio stœchiométrique. Dans cette situation, un dégagement de NH_3 intervient. Après trois ans d'exploitation à 260 °C, un convertisseur de CO a été installé en amont de l'appareil SCR. Dans le convertisseur, le CO présent dans les gaz résiduels subit une combustion catalytique et de la chaleur est générée. Le convertisseur de CO augmente la température des gaz pour atteindre des valeurs comprises entre 400 et 480 °C. Une efficacité d'élimination de NO_x d'environ 90 % peut être atteinte en ajoutant du NH_3 à hauteur de 0,9 fois le ratio stœchiométrique. Un dégagement de NO NH_3 intervient. La chute de pression au-dessus du lit catalytique (1 m) est de 140 mm (colonne d'eau).

2. Installation d'agglomération, Nippon Kokan, Keihin Works, Japon

Un système SCR a été installé dans l'installation d'agglomération Nippon Kokan, Keihin Works, en 1979. Ce système fonctionne comme un système de lavage des gaz, qui intervient après le dépoussiérage et la désulfuration. L'installation d'agglomération dispose d'une capacité de 12 000 t d'aggloméré par jour et produit un flux de gaz résiduels compris entre 1,2 et 1,3 millions de Nm^3/h .

Le système SCR utilise comme catalyseur du minerai en morceaux (minerais de limonite et de gasite issus d'Asie). Le catalyseur sélectionné est criblé et utilisé dans la charge des hauts fourneaux ou des installations d'agglomération.

Les gaz entrent dans l'appareil SCR après avoir été préchauffés à 340 °C avec une concentration en NO_x de 410 mg/Nm^3 . La concentration du gaz lavé est comprise entre 100 et 120 mg/Nm^3 , ce qui correspond à une efficacité de SCR de l'ordre de 70 à 75 %.

La chute de pression au-dessus de l'appareil SCR est comprise entre 60 et 70 mm (colonne d'eau). L'échangeur thermique présente une chute de pression de 80 mm (colonne d'eau).

La consommation de NH_3 est de 120 g/t d'aggloméré. La consommation d'électricité est de 0,014 GJ/t d'aggloméré, ce qui correspond à moins d'1 % de la consommation totale d'énergie d'agglomération.

Aucun problème n'a été signalé concernant le fonctionnement de l'appareil SCR.

Aspects économiques :

1. Installation d'agglomération, Kawasaki Steel Corporation, Chiba Works, Japon

Investissements : $27,3 \times 10^6$ ECU₁₉₉₆ en 1975

Coûts de maintenance : 0,08 ECU₁₉₉₆/t d'aggloméré en 1992 (200 000 ECU₁₉₉₆/an)

Coûts d'exploitation : 0,40 ECU₁₉₉₆/t d'aggloméré en 1992 (1 000 000 ECU₁₉₉₆/an) ; coûts de préchauffage inclus

2. Installation d'agglomération, Nippon Kokan, Keihin Works, Japon

Investissements : 50×10^6 ECU₁₉₉₆ en 1979

Coûts de maintenance : 0,57 ECU₁₉₉₆/t d'aggloméré en 1992 (900 000 ECU₁₉₉₆/an)

Coûts d'exploitation : 0,75 ECU₁₉₉₆/t d'aggloméré en 1992

[InfoMil, 1997] indique les coûts suivants pour le système SCR :

Investissement : 25 à 45 ECU₁₉₉₆/(Nm³/h) ;

Exploitation : 0,7 à 0,9 écu₁₉₉₆/1 000 Nm³ traités.

Pour une installation d'agglomération présentant une capacité de 4 Mt/an, un flux de gaz résiduaire d'1 MNm³/h et 8 640 heures d'exploitation par an, cela correspondrait aux coûts suivants :

Investissement : 25 à 45 millions d'ECU₁₉₉₆ ;

Exploitation : 1,5 à 2,0 écu₁₉₉₆/t d'aggloméré.

En 1992, l'installation de Hoogovens IJmuiden, IJmuiden, Pays-Bas, a publié des coûts estimés d'environ 30 millions d'ECU₁₉₉₇ pour une unité SCR avec système de réchauffage inclus.

Les facteurs de coûts décisifs sont l'utilisation de catalyseurs, la consommation d'ammoniac et (le cas échéant) les coûts de préchauffage des gaz résiduaire.

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

4.4 Conclusions

Pour comprendre le présent chapitre et son contenu, nous attirons l'attention du lecteur sur la préface du présent document et plus particulièrement sur la cinquième partie de la préface : « Compréhension et utilisation du présent document ». Les techniques et les niveaux ou fourchettes de niveaux d'émission et/ou de consommation associés, présentés dans le présent chapitre, ont été estimés par le biais d'un procédé itératif qui comporte les étapes suivantes :

- Identification des questions environnementales majeures pour le secteur ; pour les installations d'agglomération, il s'agit des poussières, des métaux lourds, du NO_x, du SO_x, des dioxines et de l'efficacité énergétique (chaleur) ;
- Examen des techniques les plus importantes pour répondre à ces questions majeures ;
- Identification des meilleurs niveaux de performance environnementaux, sur la base des données disponibles dans l'Union européenne et dans le reste du monde ;
- Examen des conditions dans lesquelles ces niveaux de performance sont atteints, notamment les coûts, les effets croisés, les principaux moteurs de la mise en œuvre de ces techniques ;
- Sélection des meilleures techniques disponibles (MTD) et des niveaux d'émission et/ou de consommation associés pour ce secteur au sens général, conformément à l'article 2, paragraphe 11 et à l'annexe IV de la directive.

Le jugement des experts du Bureau européen IPPC et le Groupe de travail technique (GTT) ont joué un rôle essentiel à chacune de ces étapes, notamment au niveau de la façon dont les informations sont présentées.

Sur la base de cette estimation, les techniques et, dans la mesure du possible, les niveaux d'émission et de consommation associés à l'utilisation des MTD présentés dans le présent chapitre sont considérés comme adaptés au secteur dans son ensemble et reflètent dans de nombreux cas les performances actuelles de certaines installations au sein de ce secteur. Lorsque des niveaux d'émission et de consommation « associés aux meilleures techniques disponibles » sont présentés, cela signifie que ces niveaux représentent les performances environnementales qui pourraient être obtenues par anticipation comme le résultat de l'application, dans le secteur en question, des techniques décrites, tout en gardant en mémoire la balance des coûts et des avantages inhérents à la définition des MTD. Toutefois, il n'existe aucune valeur limite d'émission ou de consommation et il ne faut pas voir comme telles les valeurs indiquées ici. Dans certains cas, il pourrait être techniquement possible d'atteindre de meilleurs niveaux d'émission ou de consommation mais, en raison des coûts liés ou des considérations croisées, les techniques envisagées ne sont pas considérées comme MTD pour le secteur dans son ensemble. Cependant, ces techniques peuvent se justifier dans des cas plus spécifiques, notamment lorsque des éléments moteurs spécifiques interviennent.

Les niveaux d'émission et de consommation associés à l'utilisation des MTD doivent être considérés dans leur ensemble, selon toutes les conditions de référence spécifiques (p. ex. des périodes moyennes).

Le concept de « niveaux associés aux MTD » décrit ci-dessus est différent du terme « niveau réalisable » utilisé par ailleurs dans le document. Lorsqu'un niveau est décrit comme « réalisable » à l'aide d'une technique ou d'une combinaison de techniques particulières, cela signifie que le niveau est susceptible d'être atteint sur une période de temps donnée, dans une installation correctement exploitée et entretenue ou à l'aide d'un processus utilisant ces techniques.

Lorsqu'elles étaient disponibles, nous avons indiqué les données relatives aux coûts, ainsi que la description des techniques présentées dans le chapitre précédent. Cela donne une indication générale de l'ampleur des coûts nécessaires. Toutefois, le coût réel d'application d'une technique dépend plus largement de la situation spécifique de chaque installation, notamment en ce qui concerne les impôts, les taxes et les caractéristiques techniques de l'installation en question. Il est impossible d'évaluer de façon exhaustive dans le présent document ce type de facteurs spécifiques pour chaque site. En l'absence de données relatives aux coûts, les conclusions portant sur la viabilité économique des techniques sont esquissées à partir d'observations effectuées sur les installations déjà existantes.

Il est prévu que les « MTD » générales décrites dans le présent chapitre puissent être utilisées pour évaluer la performance actuelle d'une installation déjà existante ou une proposition concernant une nouvelle installation et, par conséquent, fournissent une assistance dans la détermination de conditions reposant sur les « MTD » appropriées pour l'installation en question. Il est également prévu que les nouvelles installations puissent être conçues pour offrir une performance équivalente ou supérieure aux niveaux des « MTD » générales présentées ici. On peut enfin considérer que bon nombre d'installations déjà existantes pourraient, avec le temps, tendre vers les niveaux des « MTD » générales, voire les dépasser.

Les BREF ne sont pas destinés à poser des standards ayant un caractère juridique contraignant, mais à fournir des informations pour guider l'industrie, les Etats membres et l'opinion publique à atteindre des niveaux d'émission et de consommation réalisables grâce à la mise en œuvre des techniques décrites. Les valeurs limites adaptées pour tous les cas particuliers doivent être déterminées en prenant en compte les objectifs de la directive IPPC et les considérations locales.

Dans le cas des installations d'agglomération, les techniques ou combinaisons de techniques suivantes sont considérées comme MTD. L'ordre de priorité et le choix des techniques seront différents selon les circonstances locales. Toute autre technique ou combinaison de techniques qui permet d'atteindre un degré de performance ou d'efficacité égal ou supérieur peut être également considérée ; de telles techniques peuvent être actuellement en cours de développement, il peut également s'agir de techniques émergentes ou déjà disponibles, mais qui ne sont pas mentionnées ni décrites dans le présent document.

1. Dépoussiérage des effluents gazeux par :

- Précipitation électrostatique avancée (ESP) (ESP à électrode mobile, système d'épuration à impulsions, précipitation électrostatique à haute tension...) ; *ou*
- Précipitation électrostatique plus filtre en tissu ; *ou*
- Pré-dépoussiérage (p. ex. séparateur ESP ou cyclones) associé à une épuration par voie humide à haute pression.

L'emploi de ces techniques permet de réduire la teneur en poussières des rejets à moins de 50 mg/Nm³ dans les conditions normales de fonctionnement. En cas d'utilisation d'un filtre en tissu, ces rejets sont compris entre 10 et 20 mg/Nm³.

2. Recirculation des gaz résiduels, lorsqu'elle n'affecte significativement ni la qualité ni la productivité de l'agglomération, par :

- recirculation d'une partie des gaz résiduels à partir de toute la surface de la chaîne d'agglomération *ou*
- recirculation des gaz résiduels par section.

3. Réduction au minimum des rejets de PCDD/F, par :

- recirculation des gaz résiduels ;
 - traitement des gaz résiduels provenant de la chaîne d'agglomération ;
 - utilisation de systèmes d'épuration fine par voie humide, permettant d'atteindre des valeurs inférieures à 0,4 ng I-TEQ/Nm³.
 - filtration sur tissu avec ajout de poudre de coke de lignite, pour des valeurs d'émission de PCDD/F également réduites (réduction supérieure à 98 %, soit 0,1 à 0,5 ng I-TEQ/Nm³. Cette plage de valeurs repose sur un échantillon aléatoire de 6 heures et des conditions de régime permanent).
4. Réduction au minimum des rejets de métaux lourds
- utilisation de systèmes d'épuration fine par voie humide afin d'éliminer les métaux lourds hydrosolubles tels que les chlorures, et plus particulièrement le(s) chlorure(s) de plomb, avec une efficacité supérieure à 90 %, ou d'un filtre à manche avec addition de chaux ;
 - mise en décharge contrôlée (enrobage hermétique, collecte et traitement des lixiviats) des poussières provenant du dernier étage du séparateur électrostatique ESP au lieu de les recycler vers la chaîne d'agglomération, éventuellement après extraction de l'eau suivie d'une précipitation des métaux lourds, afin de réduire autant que possible les quantités à mettre en décharge.
5. Réduction au minimum des déchets solides
- recyclage des sous-produits ferreux et carbonés provenant des aciéries intégrées, en tenant compte de la teneur en huile des différents sous-produits (< 0,1 %)
 - Dans le cas de la production de déchets solides, les techniques suivantes sont considérées comme MTD, par ordre de priorité décroissant :
 - réduction au minimum de la production de déchets
 - recyclage sélectif vers le procédé d'agglomération
 - si une réutilisation interne est impossible, viser une réutilisation externe
 - si aucune réutilisation n'est possible, la seule option restante est la mise en décharge contrôlée, combinée au principe de réduction au minimum.
6. Abaissement de la teneur en hydrocarbures du produit à agglomérer et évitement de l'antracite comme combustible.
- Il est possible d'atteindre des teneurs en huile, mesurées dans les sous-produits ou les résidus recyclés, inférieures à 0,1 %.
7. Récupération de la chaleur sensible :
- La chaleur sensible peut être récupérée à partir des gaz résiduels du refroidisseur et, dans certains cas, à partir des gaz résiduels de la grille d'agglomération. La recirculation des gaz résiduels peut également être considérée comme une forme de récupération de la chaleur sensible.
8. Réduction au minimum des rejets de SO₂ par, notamment :

- réduction de la quantité de soufre entrante (emploi de poussier de coke à faible teneur en soufre et réduction au minimum de la consommation de poussier de coke, utilisation de minerai de fer à faible teneur en soufre) ; grâce à ces mesures, il est possible d'atteindre, dans les rejets, des concentrations inférieures à 500 mg SO₂/Nm³.
- désulfuration des gaz résiduels par voie humide, qui permet d'obtenir une réduction des émissions de SO₂ supérieure à 98 % et des concentrations de SO₂ inférieures à 100 mg SO₂/Nm³.
En raison de son coût élevé, la désulfurisation des gaz résiduels par voie humide ne s'impose que lorsque les normes de qualité environnementale risquent de ne pas être atteintes.

9. Réduction au minimum des émissions de NO_x par, notamment :

- recirculation des gaz résiduels
- dénitrification des gaz résiduels, grâce à
- un processus de régénération au charbon actif
- une réduction catalytique sélective.

En raison de son coût élevé, la dénitrification des gaz résiduels n'est pas appliquée, excepté lorsque les normes de qualité environnementale risquent de ne pas être atteintes.

10. Rejets dans l'eau (autres que l'eau de refroidissement)

Cette question n'est pertinente qu'en cas d'utilisation d'eau de rinçage ou d'un système de traitement des gaz résiduels par voie humide. Dans ces cas, l'effluent liquide doit être traité par précipitation des métaux lourds, neutralisation et filtration sur sable. Des concentrations de carbone organique total inférieures à 20 mg C/l et des concentrations de métaux lourds inférieures à 0,1 mg/l (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) sont atteintes.

En cas de déversement dans les eaux douces, il convient de faire attention à la salinité. L'eau de refroidissement peut être recyclée.

En principe, compte tenu de la préface, les techniques mentionnées aux points 1 à 10 sont applicables aussi bien aux nouvelles installations qu'aux installations déjà existantes.

4.5 Techniques émergentes et développements futurs

Dans cette partie, nous évoquons un certain nombre de techniques qui ne sont pas encore appliquées à l'échelle industrielle ou qui ne sont pas encore mises en œuvre dans l'industrie sidérurgique, bien qu'elles soient déjà appliquées à l'échelle industrielle. La plupart des techniques mentionnées sont des techniques appliquées en fin de process.

Par ailleurs, il convient de noter que les nouvelles techniques de fabrication de l'acier pourraient réduire fortement les besoins des installations d'agglomération. Ces nouvelles techniques sidérurgiques sont décrites au Chapitre 11.

4.5.1 Élimination des PCDD/F

Afin de réduire les émissions de PCDD/F et d'autres micropolluants organiques, des mesures appliquées en fin de process telles que l'injection de poudre de coke de lignite suivie d'une filtration sur tisse (EP.2) ou le processus d'épuration fine suivi du traitement des eaux usées (EP.4) ont été décrites. Une autre possibilité est l'application d'une technique d'adsorption suivie, si nécessaire, d'une oxydation catalytique de ces polluants. Les techniciens d'installations d'agglomération en Allemagne et Sidmar N.V., Gand, Belgique ont créé une association en coopération avec l'association allemande « Verein deutscher Eisenhüttenleute, VDEh », afin de développer des techniques qui permettent de réduire les émissions de PCDD/F issues des installations d'agglomération. Sollac (USINOR, France) a récemment rejoint le groupe des entreprises sidérurgiques. L'objectif de cette association est de développer un processus d'exploitation sûr, qui n'ait pas recours à l'eau et qui puisse être appliqué aux installations déjà existantes. Sur la base de ces expériences préliminaires et de ces calculs de coûts, l'association a érigé une installation de démonstration dans l'installation de Thyssen Krupp Stahl AG, Duisburg, Allemagne. Cette installation se compose d'une étape d'adsorption (réacteur de flux entraîné), d'un électrofiltre déjà existant puis d'un catalyseur agissant comme un oxydant (Figure 4.24). L'appareil qui permet d'injecter la poudre de coke de lignite (voir EP.2) sous forme d'adsorbant dans les gaz bruts est installé à environ 27 m en amont de l'électrofiltre. Un système de contrôle permet de surveiller la dose d'adsorbant comprise entre 0 et 300 mg/m³. Les PCDD/F sont essentiellement présents à l'état gazeux et sont adsorbés par la poudre de coke de lignite. Ils sont ensuite précipités dans l'électrofiltre, puis recyclés vers la chaîne d'agglomération. Les PCDD/F restants sont détruits (atteignant en théorie des valeurs inférieures à 0,1 ng I-TEQ/Nm³) dans un catalyseur à nids d'abeilles situé entre le ventilateur et la cheminée, mais ces valeurs inférieures à 0,1 ng I-TEQ/Nm³ après oxydation catalytique n'ont pas encore pu être confirmées dans la pratique. Des tests préliminaires sans oxydation catalytique ont montré que le processus était parfaitement adapté.

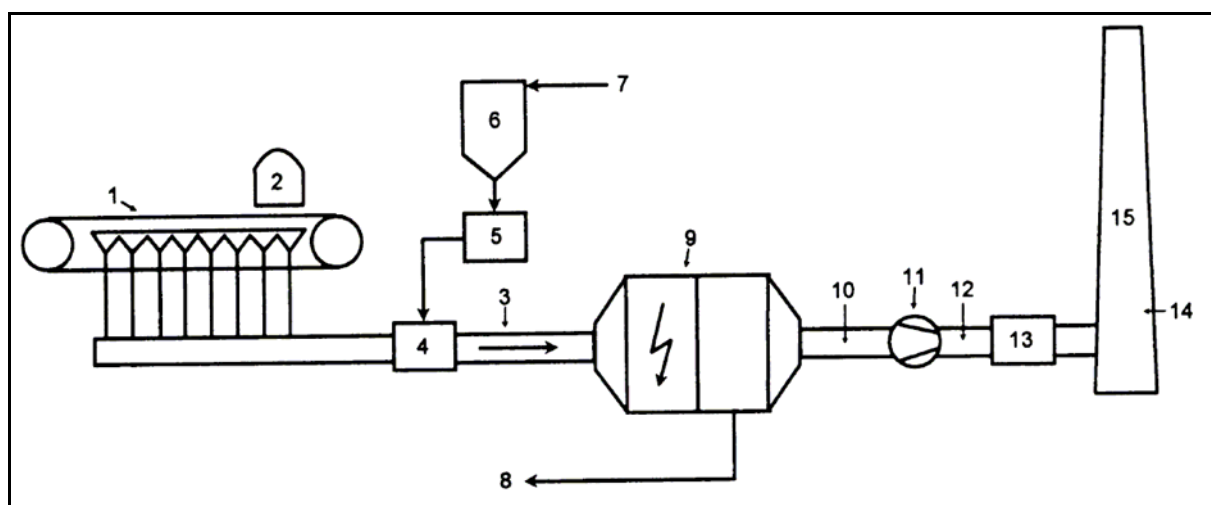


Figure 4.24 : Diagramme de principe d'un système de traitement des gaz résiduels avec une étape d'adsorption et un convertisseur catalytique – [Kersting, 1997 ; Philipp, 1988]

- | | |
|--|--|
| 1 chaîne d'agglomération | 9 séparateur électrostatique |
| 2 four d'allumage | 10 station de mesure des concentrations de poussières et de PCDD/F |
| 3 conduite principale de gaz résiduels avec réacteur pour les PCDD/F | 11 ventilateur |
| 4 tuyaux d'injection | 12 station de mesure de la composition des gaz résiduels |
| 5 station de dosage avec équipement de contrôle | 13 convertisseur catalytique d'oxydation |
| 6 réservoir d'alimentation pour les adsorbants | 14 station de mesure des PCDD/F |
| 7 appareil de chargement | 15 cheminée |
| 8 recyclage des poussières | |

Il convient de noter que les deux systèmes (injection de poudre de coke de lignite et oxydation catalytique) ont été testés séparément et qu'il n'est pas forcément nécessaire de les mettre tous deux en œuvre pour obtenir des valeurs inférieures à 0,1 ng I-TEQ/Nm³.

5 INSTALLATIONS DE PELLETISATION

Comme cela a été évoqué dans la Section 3.2.1, la pelletisation et le frittage du minerai de fer sont des procédés complémentaires pour la préparation des matières premières à base d'oxyde de fer destinées à la production primaire de fer et d'acier. Chacun de ces procédés présente des avantages et des inconvénients spécifiques qui dépendent fortement des conditions locales telles que la disponibilité et le type de matières premières. Pour différentes raisons, l'aggloméré fabriqué par frittage est presque toujours produit à proximité de l'aciérie, ce qui permet de recycler les déchets solides et d'utiliser le menu coke comme combustible dans les aciéries. L'aggloméré obtenu par frittage est par ailleurs susceptible de se dégrader lors du transport et de la manutention. Les pellets sont des sphères de 9 à 16 mm de diamètre produites à partir des matières premières – du minerai fin et des additifs d'une taille inférieure à 0,05 mm – cuites à de très hautes températures. Cette opération s'effectue principalement sur le site de la mine ou de son port d'expédition. Dans l'UE à 15, seule une aciérie intégrée inclut une installation de pelletisation (aux Pays-Bas). La Suède dispose de quatre installations de pelletisation autonomes.

La production de pellets dans les cinq installations européennes susmentionnées était de 15,1 Mt en 1996. En 1995, la consommation totale de pellets dans l'UE à 15 était d'environ 35 Mt et la consommation d'aggloméré obtenu par frittage était près de trois fois supérieure.

5.1 Procédés et techniques appliqués

Les pellets sont de petites sphères cristallisées de minerai de fer dont le diamètre varie entre 9 et 16 mm. La Figure 5.1 montre le noduliseur d'une chaîne d'agglomération, l'un des éléments d'une installation de pelletisation.



Figure 5.1 : Noduliseur d'une chaîne d'agglomération dans une installation de pelletisation

Le processus de pelletisation est constitué des étapes suivantes : broyage et séchage ou déshydratation, puis bouletage et durcissement, et enfin criblage et manutention (voir la Figure 5.2)

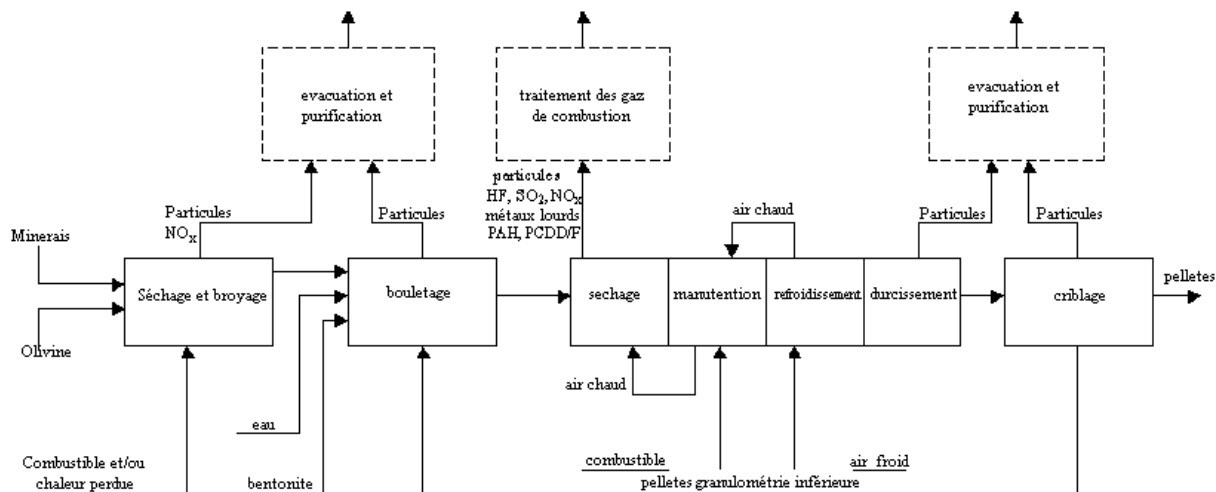


Figure 5.2 : Schéma d'une installation de pelletisation – [InfoMil, 1997]

5.1.1 Broyage et séchage/déshydratation

Avant d'alimenter l'installation de pelletisation, le minerai est enrichi par le biais de plusieurs étapes de tri et d'enrichissement, avec des phases intermédiaires de concassage et de broyage. Du fait des propriétés du minerai, la séparation magnétique est le principal moyen de concentration. Dans les installations suédoises, le broyage et la concentration sont des procédés par voie humides. Dans l'usine hollandaise, le broyage est effectué à des températures relativement élevées (environ 100 °C). Au cours du procédé par voie humide, les additifs (olivine, dolomie et/ou chaux selon le produit final) sont broyés puis ajoutés au minerai sous forme liquide, habituellement dans une proportion de 3 à 3,5 %, avant l'opération de déshydratation. Dans l'autre procédé, la matière est broyée à chaud, réhumidifiée dans des malaxeurs à palettes puis mélangée à des additifs. Dans les deux cas, l'humidité est ajustée à 8 à 9 %.

5.1.2 Préparation des boulettes « vertes »

Les pellets déshydratés ou réhydratés sont mélangés à des additifs puis traités dans l'installation de préparation des boulettes « vertes ». Cette dernière contient généralement 4 à 6 circuits de bouletage composés de réservoirs d'alimentation, de noduliseurs de chaîne d'agglomération, de cribles-classeurs à rouleaux et de convoyeurs qui permettent de faire circuler le matériau. Le noduliseur est incliné de 6 à 8 ° par rapport à l'horizontale. Pour obtenir une taille homogène de boulettes « vertes », en règle générale de

l'ordre de 9 à 16 mm de diamètre, les granulométries inférieures et supérieures sont criblées et réintègrent le circuit de fabrication des boulettes.

5.1.3 Durcissement

Le durcissement implique un traitement thermique qui allie les opérations de séchage, chauffage et refroidissement. Ce procédé peut se dérouler dans deux types d'équipement : les grilles droites et les grilles-séchoirs. Au cours du traitement thermique, la magnétite est presque entièrement oxydée en hématite. Cette opération contribue à la forte consommation de chaleur nécessaire pour le fonctionnement du processus.

5.1.3.1 Méthode de la grille droite

Le procédé de la grille droite s'effectue sur une grille mobile divisée en plusieurs sections (voir la Figure 5.3).

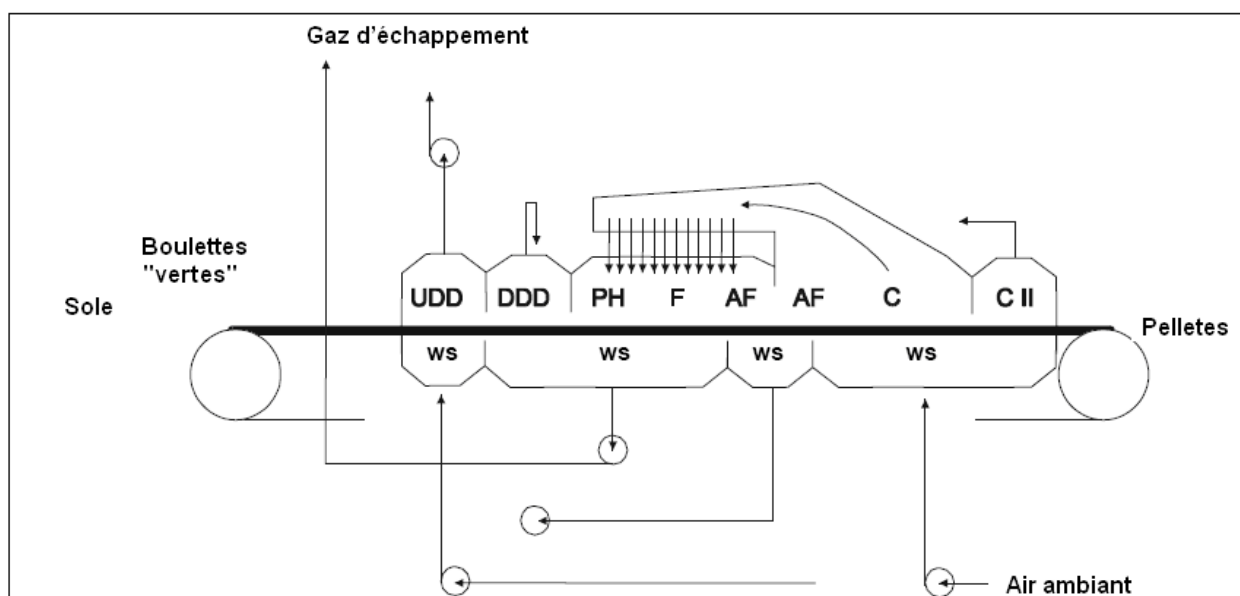


Figure 5.3 : Schéma du procédé de la grille droite

UDD	Séchage ascendant avec de l'air chaud provenant de C II
DDD	Séchage descendant avec de l'air chaud provenant de AF
PH	Préchauffage avec de l'air chaud récupéré de C
F	Zone de cuisson, mazout et air chaud provenant de C
AF	Sections post-cuisson avec de l'air chaud provenant de C
C	Section de refroidissement utilisant de l'air (ambiant) froid
C II	Seconde section de refroidissement utilisant de l'air (ambiant) froid

Avant que les boulettes « vertes » ne soient placées sur les barreaux de la grille, ceux-ci sont recouverts d'une sole de 5 à 10 cm d'épaisseur de pellets cuits. Les boulettes « vertes » sont ensuite chargées sur la sole pour former un lit perméable aux gaz d'une hauteur totale de 40 à 55 cm. Les boulettes « vertes » doivent être chauffées à environ 1 250° pendant l'oxydation et le frittage afin d'obtenir des pellets d'une grande dureté. La cuisson se fait grâce à une série de brûleurs situés de part et d'autre de la grille mobile, qui fonctionnent habituellement au mazout.

À la fin de la bande de durcissement, une partie des pellets est recyclée en sole.

5.1.3.2 Méthode du four à grille

Le système du four à grille est divisé en trois parties : une grille mobile, un four rotatif et un refroidisseur circulaire séparé.

La grille est constituée d'une chaîne sans fin de plaques grillagées reliées à des boîtes à vent selon un principe d'étanchéité aux gaz. Les boulettes sont directement déposées sur les plaques grillagées sur lesquelles elles forment un lit de 20 à 25 cm d'épaisseur. Après le prétraitement sur la grille, les boulettes « vertes » sont déversées dans le four rotatif par l'intermédiaire d'une goulotte. Ce four comporte, près de son extrémité de déchargement, un brûleur unique au mazout ou au charbon et a une température de fonctionnement de 1 250°C environ. Le refroidisseur circulaire a un fond grillagé qui permet à l'air froid de pénétrer dans la couche de pellets. Des parois divisent le refroidisseur en sections de manière à fournir de l'air chaud aux étapes du processus qui se déroulent en amont.

La Figure 5.4 donne une vue d'ensemble du processus.

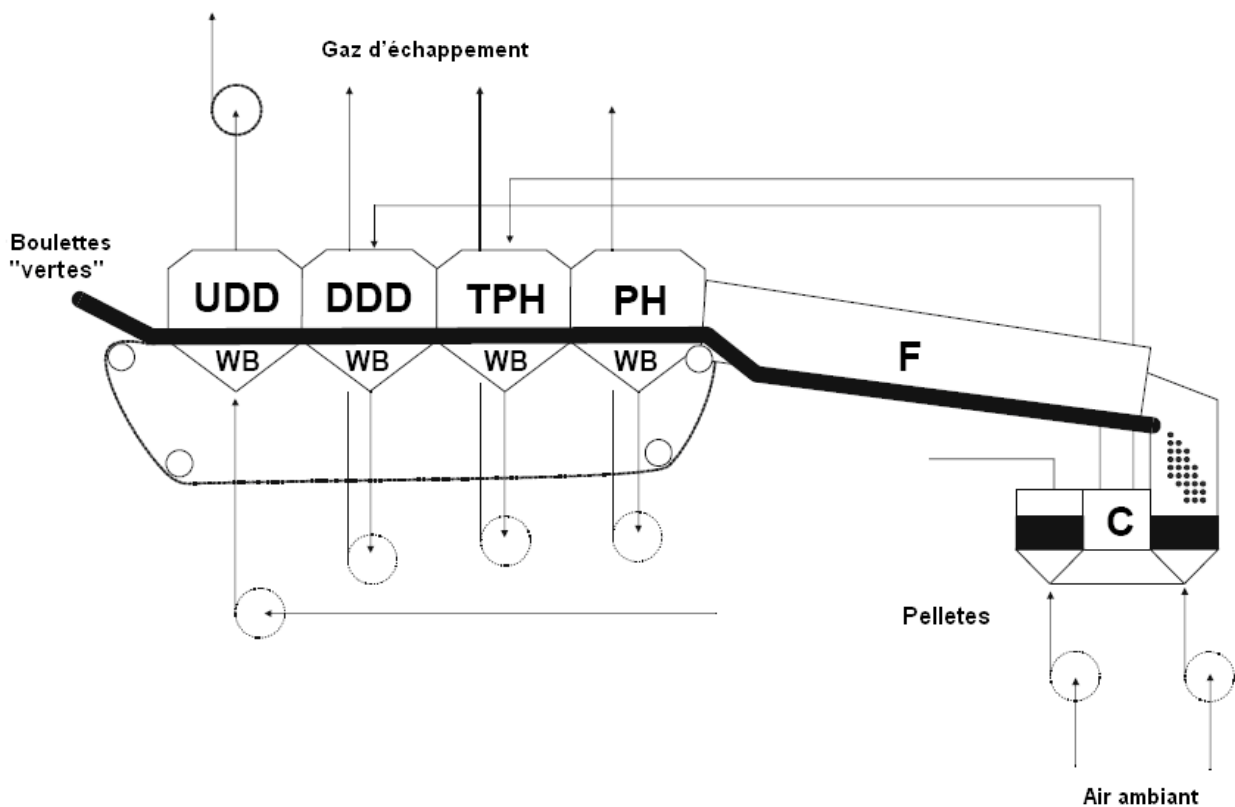


Figure 5.4 : Schéma du procédé du four à grille

UDD	Séchage ascendant avec de l'air chaud provenant de la dernière section du refroidisseur
DDD	Séchage descendant avec de l'air chaud provenant d'une section intermédiaire du refroidisseur
TPH	Préchauffage modéré avec de l'air chaud provenant d'une section intermédiaire du refroidisseur
PH	Préchauffage avec des gaz de combustion chauds provenant du four rotatif
F	Zone de cuisson utilisant de l'air chaud provenant de la première section du refroidisseur

C Zones de refroidissement utilisant de l'air (ambiant) froid

Lors du durcissement de la magnétite, l'oxydation en hématite et le frittage ont lieu dans les sections TPH, PH, F et C (voir la Figure 5.4).

5.1.4 Criblage et manutention

À la fin de la bande de durcissement, les pellets sont récupérés et triés. Les pellets trop petits ou brisés peuvent être recyclés. Il peut se produire des émissions significatives de particules.

Dans le cas des installations autonomes en Suède, les pellets durcis sont conservés dans des bennes recouvertes avant d'être chargés dans des wagons ouverts pour être transportés vers les ports de Narvik (Norvège) et Luleå (Suède). À l'occasion du chargement sur les navires, 2 à 3 % des matériaux ont des granulométries inférieures et sont vendus pour alimenter le frittage. Comme pour tous les matériaux destinés aux hauts fourneaux (coke, aggloméré par frittage, pellets et minerai en morceaux) un ultime criblage a lieu sur le site du haut fourneau.

5.2 Niveaux de consommation et d'émission actuels

5.2.1 Vue d'ensemble des flux entrants et sortants

La Figure 5.5 donne une vue d'ensemble des flux d'entrée et de sortie d'une installation de pelletisation. Cet aperçu peut être utilisé lors de la collecte de données dans une installation de pelletisation.

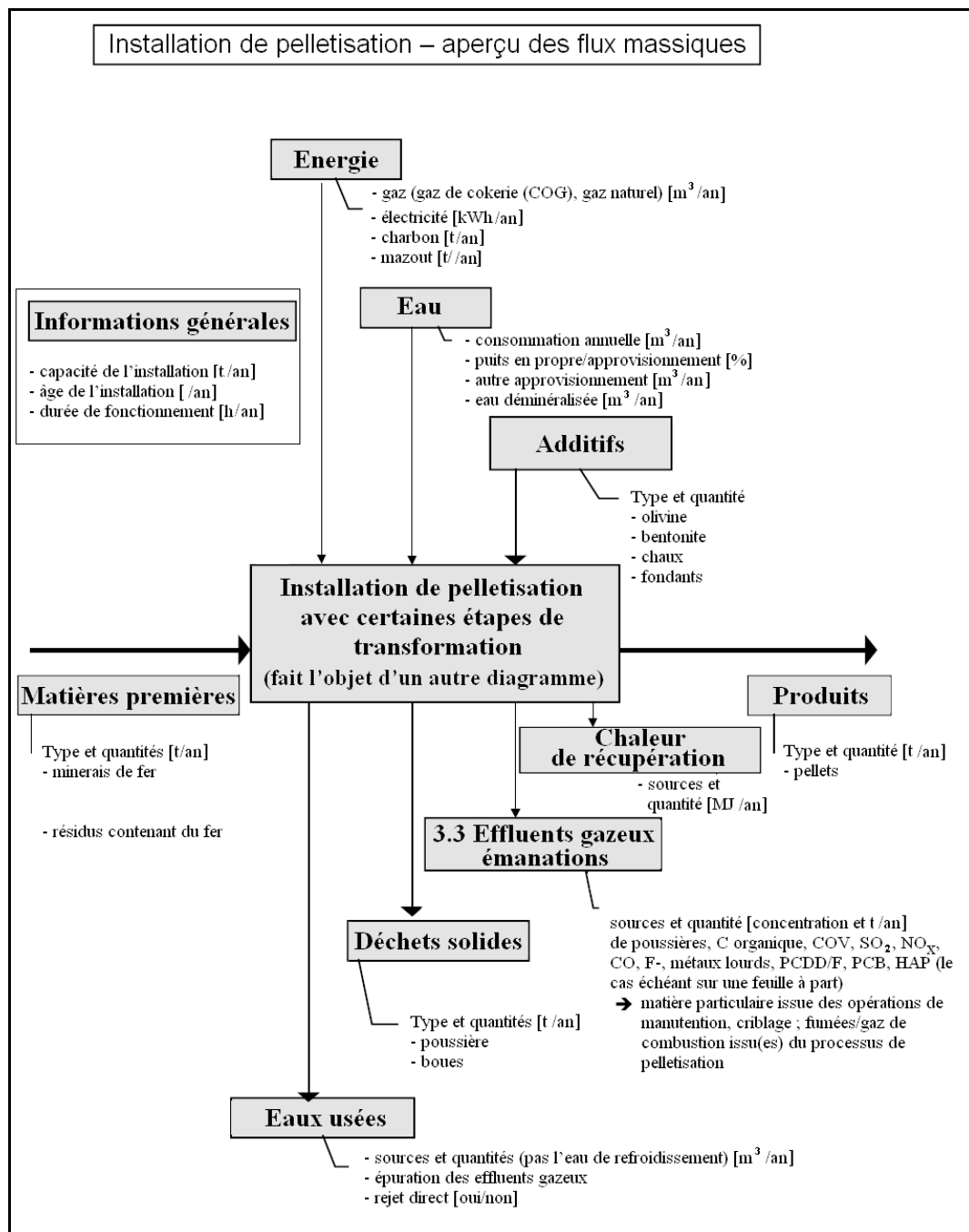


Figure 5.5 : Aperçu des flux dans une installation de pelletisation

Par la suite, il est possible de calculer les facteurs d'entrées et d'émissions spécifiques. Le Tableau 5.1 présente les valeurs de ces facteurs dans les cinq installations de pelletisation de l'UE. Les paramètres d'émission ne sont pas donnés par rapport à 1 t d'acier brut liquide comme pour les installations de frittage, les cokeries et les hauts fourneaux parce que les facteurs de conversion nécessaires sont indisponibles. Le flux spécifique de gaz de combustion est d'environ 1 940 à 2 400 Nm³/pellets.

Entrée			Sortie		
Matières premières			Produits		
Minerai de fer	kg/t de pel	935 – 1120	Pellets	kg/t de pel	1000,00
Bentonite	kg/t de pel	5,1 – 7,2			
Olivine	kg/t de pel	31 – 35,8	Émissions		
Chaux ^{*1}	kg/t de pel	0 – 3	Poussières	g/t de pel	20 – 130
Dolomie ^{*2}	kg/t de pel	31	Cd	mg/t de pel	0,02 – 0,4
			Cr	mg/t de pel	1 – 4,4
			Cu	mg/t de pel	1,7 – 7,5
			Hg	mg/t de pel	< 0,1 – 0,4
			Mn	mg/t de pel	8 – 38
Énergie			Ni	mg/t de pel	5 – 25
Gaz de cokerie ^{*3}	MJ/t de pel	398,7	Pb	mg/t de pel	3 – 130
Gaz naturel ^{*3}	MJ/t de pel	209,0	Tl	mg/t de pel	n. d.
Coke ^{*3}	MJ/t de pel	283,0	V	mg/t de pel	21 – 150
Charbon ^{*4}	MJ/t de pel	213 – 269	Zn	mg/t de pel	2,4 – 110
Mazout ^{*4}	MJ/t de pel	38 – 171	HF ^{*5}	g/t de pel	0,8 – 39
Électricité	MJ/t de pel	51 - 128	HCl ^{*5}	g/t de pel	2 – 48
			SO _x ^{*6}	g/t de pel	18 – 250
			NO _x	g/t de pel	120 – 510
Eau	m ³ /t de pel	0,11 – 1,5	CO	g/t de pel	< 10 ^{*4} – 410
			CO ₂	kg/t de pel	15,6 – 31,8
			COV ^{*7}	g/t de pel	< 5 ^{*4} – 40 ^{*3}
Air comprimé	Nm ³ /t de pel	6,2 – 15,2	AHP ^{*8}	mg/t de pel	0,19
			PCDD/F ^{*4}	µg I-TEQ/t de pel	0,0057
			Résidus / sous-produits		
			Poussières	kg/t de pel	-

Légende : Pel = Pellets ; n. d. = non disponible

^{*1} dans le cas de la production de pellets pour une réduction directe

^{*2} dans le cas de la production de pellets pour les hauts fourneaux

^{*3} dans le cas où l'installation de pelletisation fait partie d'une aciérie intégrée

^{*4} dans le cas des installations de pelletisation autonomes en Suède (minerais à magnétite)

*5 valeur plus basse si l'on applique les techniques de suppression des composés acides des effluents gazeux

*6 valeur plus basse si l'on applique les techniques de désulfuration

*7 la méthode de mesure est inconnue

*8 l'information permettant de savoir s'il s'agit des 6 de Borneff ou des 16 EPA ou de benzo(a)pyrène n'est pas disponible

*9 somme des 16 EPA calculée à partir des 6 de Borneff ($16 \text{ EPA} = 6 \text{ de Borneff} \times 4$) avec $2\,100 \text{ Nm}^3/\text{t}$ d'aggloméré de frittage

Tableau 5.1 : Données d'entrée et de sortie provenant des cinq installations de pelletisation dans l'UE à 15

Données de 1996 à 1998.

Les données relatives aux émissions représentent les émissions après réduction.

Les informations relatives à l'obtention des données, comme les méthodes d'échantillonnage ou d'analyse, les intervalles de temps, les méthodes de calcul informatique et les conditions de référence ne sont pas disponibles.

5.2.2 Informations sur les différents flux d'émission

L'installation de pelletisation est une source d'émissions dans l'air, principalement d'effluents gazeux et de particules. Lorsque des techniques de réduction sont appliquées dans le but de réduire ces émissions, on observe des effets croisés. En règle générale, les éléments suivants sont pertinents :

1. Les émissions de particules au cours du broyage ;
2. Les émissions de NO_x au cours du durcissement et du séchage ;
3. Les émissions de particules et d'effluents gazeux depuis la bande de durcissement ;
4. Les émissions de SO_2 au cours du durcissement ;
5. Les émissions de HCl et de HF au cours du durcissement ;
6. Les eaux usées provenant du traitement des effluents gazeux (en option) ;
7. Les déchets solides provenant du traitement des effluents gazeux (en option) ;
8. Les émissions de particules au cours du criblage et de la manutention ;
9. La consommation en énergie.

5.2.2.1 Émissions de particules au cours du broyage

Le gaz de processus rejeté après l'étape du séparateur à air contient de grandes quantités de particules. Celle-ci est principalement constituée de fer (Fe) et reflète la composition des matières premières. Les émissions peuvent être réduites par précipitation électrostatique.

5.2.2.2 Émissions de NO_x au cours du durcissement et du séchage

Les NO_x émis sont formés au cours de la combustion selon deux mécanismes. L'oxydation des composés azotés dans le combustible hydrocarboné donne le « NO_x de combustible ». L'autre mécanisme, plus important, est la formation de NO_x au cours du processus de pelletisation entraînée par les températures très élevées. Ces dernières sont à l'origine d'une dissociation de l'azote et de l'oxygène contenus dans l'air qui réagissent alors pour former le « NO_x thermique ». Les données du Tableau 5.1 illustrent les différences significatives de ces deux processus de formation du NO_x.

5.2.2.3 Émissions de particules et d'effluents gazeux depuis la bande de durcissement

Les émissions de gaz et de particules proviennent de la zone de combustion de la bande de durcissement. Elles sont continues et doivent être supprimées efficacement par précipitation électrostatique, filtre à manche ou lavage.

5.2.2.4 Émissions de SO₂ au cours du durcissement

Le dioxyde de soufre (SO₂) se forme au cours du processus de durcissement. Les niveaux d'émission dépendent de la teneur en soufre du minerai, des additifs et du combustible utilisé. Le Tableau 5.1 montre que les émissions de SO₂ sont près de dix fois plus élevées si l'on n'applique aucune technique de réduction.

5.2.2.5 Émissions de HCl et de HF au cours du durcissement

L'installation de pelletisation est également une source d'acide fluorhydrique (HF) et chlorhydrique (HCl). Ces composants apparaissent lors du durcissement à partir des minéraux (apatite) contenant du fluor et du chlore présents dans le minerai. Le Tableau 5.1 indique que les émissions de HF et de HCl sont près de dix fois plus élevées si l'on n'applique aucune technique de réduction.

5.2.2.6 Eaux usées

Lorsque l'on utilise un laveur pour enlever les polluants, on génère un flux d'eaux usées. A cause de la présence de HF, ces eaux usées nécessitent une importante purge.

Par ailleurs, des eaux usées sont déversées lors du rinçage de l'installation et des équipements. Dans l'usine de Hoogovens Ijmuiden, à Ijmuiden, Pays-Bas, ce flux est d'environ 0,04 m³ /t de pellets. L'eau de refroidissement peut provenir de la section de broyage et de séchage de même que de la bande de durcissement. Pour l'usine néerlandaise précédemment mentionnée, le flux spécifique est de 0,16 m³ /t de pellets et de 0,05 m³ /t de pellets, respectivement.

5.2.2.7 Déchets solides

L'installation de pelletisation en elle-même n'est pas une source principale de déchets solides. Toutefois, le tri et l'enrichissement des matières premières sont une source de déchets solides. De plus, la réduction des émissions de particules engendre systématiquement la formation de déchets solides.

5.2.2.8 Consommation en énergie

Le Tableau 5.1 montre une consommation d'énergie significativement plus élevée de l'installation de pelletisation qui fait partie de l'aciérie intégrée, par rapport aux installations autonomes suédoises. La principale raison en est la plus forte contribution de chaleur issue de l'oxydation de la magnétite dans ces dernières, qui utilisent des minerais provenant principalement de gisements de magnétite.

5.3 Techniques à prendre en compte lors de la détermination des MTD

Cette section décrit les techniques de protection de l'environnement et d'économies d'énergie intégrées au processus et appliquées en fin de cycle dans les installations de pelletisation. Pour chaque technique, on donne les principaux niveaux d'émissions atteints, l'applicabilité, les effets croisés, les installations de référence et la documentation disponible. Lorsque cela est possible, ces informations sont complétées par des données économiques et d'exploitation. La liste est très courte dans la mesure où il n'y a que peu d'installations en Europe (4 en Suède et 1 aux Pays-Bas) et peu d'informations disponibles sur l'application des techniques de protection de l'environnement dans les installations de pelletisation en général.

Mesures intégrées au processus

- PI.1 Récupération de chaleur sensible dégagée au niveau de la bande de durcissement
- PI.2 Réduction des émissions de NOx intégrée au processus

Techniques appliquées en fin de process

- EP.1 Précipitation électrostatique dans les broyeurs (broyage à sec)
- EP.2 Suppression des particules dans les zones de séchage et de durcissement
- EP.3 Absorbeur à suspension gazeuse (GSA)

PI.1 Récupération de chaleur sensible dégagée au niveau de la bande de durcissement

Description : L'installation de pelletisation est conçue de telle manière que la chaleur sensible contenue dans les flux gazeux de la bande de durcissement est réutilisée de manière efficace. Par exemple, l'air chaud en provenance de la section de refroidissement primaire est utilisé comme air de combustion secondaire dans la section de cuisson. A son tour, la chaleur émise par la section de cuisson est utilisée dans la section de séchage de la bande de durcissement. La chaleur issue de la section de refroidissement secondaire est également utilisée dans la section de séchage.

Dans l'installation de pelletisation qui fait partie de l'aciérie intégrée, la section de refroidissement génère plus de chaleur sensible que ce qui peut être utilisé au niveau de la bande de durcissement. Auparavant, cette chaleur était abandonnée mais, depuis la moitié des années 1980, elle est utilisée dans les chambres de séchage de l'unité de broyage-séchage. L'air chaud est transporté dans une conduite isolée appelée « BRAMA-leiding ».

La « BRAMA-leiding » transporte approximativement 150 000 m³/h d'air chaud (250°C) depuis la section de refroidissement de la bande de durcissement jusqu'aux broyeurs de la section de séchage et broyage. Dans la section de séchage, l'air chaud (600 à 800°C) sert à sécher les concentrés et les particules fines avant le broyage. L'utilisation de l'air chaud de la section de refroidissement permet de réduire la cuisson dans la chambre de séchage de manière considérable.

Principaux niveaux d'émission atteints : la consommation d'énergie brute de l'installation de pelletisation mentionnée ci-dessus est d'environ 1,8 GJ/t de pellets (cette consommation est nettement plus élevée que celle des installations autonomes, voir le Tableau 5.1). Près de 0,7 GJ/t de pellets provient de la récupération de chaleur, tandis que près de 1,1 GJ/t de pellets provient du combustible (voir également le Tableau 3.2). La « BRAMA-leiding » est incluse dans ce calcul et représente une récupération d'énergie d'environ 67,5 MJ/t de pellets (soit près de 4 % de la consommation d'énergie brute).

Applicabilité : La récupération de chaleur sensible est intégrée au processus des installations de pelletisation. On s'attend à ce que les nouvelles installations soient d'une conception encore plus efficace que les installations existantes. La « BRAMA-leiding » peut être intégrée aux installations existantes ayant une conception similaire et dégageant suffisamment de chaleur sensible.

Effets croisés : L'utilisation dans la zone de cuisson de la bande de durcissement d'air chaud provenant de la zone de refroidissement peut accroître la température des flammes du/des brûleur(s) et par conséquent augmenter les émissions de NO_x.

Installations de référence : Installation de pelletisation, Hoogovens Ijmuiden, Ijmuiden, Pays-Bas.

Données opérationnelles : Non disponibles

Aspects économiques : La récupération de chaleur au niveau de la bande de durcissement fait partie intégrante de la conception de l'installation et n'exige aucun investissement supplémentaire. La « BRAMA-leiding » a été mise en service en 1984. On estime que l'investissement était alors de 5 millions ECU₁₉₈₄. Les économies de coûts énergétiques se montent à 2,8 millions d'ECU par an.

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

PI.2 Réduction des émissions de NO_x intégrée au processus

Description : Dans la zone de cuisson de la bande de durcissement, les températures élevées engendrent la formation de NO_x. Dans une installation de pelletisation incluse dans une aciérie intégrée, il a été estimé que près de 50 à 75 % du NO_x total se formait dans les brûleurs (« NO_x thermique »), et qu'environ 25 à 50 % se formait dans le lit de pellets. Les principaux facteurs de formation du NO_x thermique sont les températures élevées (1 300 à 1 400°C) et la forte disponibilité en oxygène dans la zone des brûleurs.

Le NO_x qui apparaît au niveau du lit de pellets consiste principalement en « NO_x instantané » et « NO_x combustible », qui sont formés lors de réactions entre les hydrocarbures et l'azote du menu coke et l'oxygène et l'azote de l'air. Il n'est pas possible de distinguer entre les différents types de NO_x une fois qu'ils se sont formés, car ils ne présentent aucune différence dans leur composition chimique.

Les mesures les plus importantes qui peuvent être prises pour réduire le niveau global des émissions de NO_x en provenance de l'installation de pelletisation ont pour objectif de réduire la formation de NO_x thermique. Ceci peut être fait en diminuant la température (maximale) atteinte par les brûleurs et en diminuant l'excès d'oxygène dans l'air de combustion.

Principaux niveaux d'émission atteints : Dans l'installation de pelletisation KK3 de la société LKAB à Kiruna (Suède), les émissions de NO_x de la zone de cuisson n'excèdent pas 140 g/t de pellets (voir le Tableau 5.1) ou (avec 2 400 Nm³/t de pellets) 58 mg/ Nm³. Cette installation a été mise en service en janvier 1996 et il n'existe aucune technique appliquée en fin de cycle pour réduire les émissions de NO_x. Selon [InfoMil, 1997], les faibles émissions de NO_x ont été atteintes grâce à une faible teneur en azote dans le combustible (charbon et mazout) associée à une limitation de l'excès d'oxygène. La bande de durcissement comporte deux grands brûleurs.

La situation est quelque peu différente pour l'installation de pelletisation de Hoogovens Ijmuiden. Elle a été mise en service en 1970 et comporte 56 petits brûleurs (parmi lesquels 44 fonctionnent simultanément). Les émissions de NO_x issues de la bande de durcissement sont d'environ 510 à 970 g/t de pellets ou (avec 1 940 Nm³/t de pellets) 260 à 500 mg/ Nm³; la valeur la plus basse est liée au chiffre du Tableau 5.1. Dans cette installation, les mesures intégrées au processus sont complexes et avaient été spécifiquement conçues pour elle.

Applicabilité : Lors de la construction d'une nouvelle installation, des mesures de réduction des émissions de NO_x intégrées au processus peuvent être envisagées dès la phase de conception. Dans les installations existantes, il est beaucoup plus difficile de mettre en place des mesures intégrées au processus et elles doivent être adaptées à chaque installation concernée.

Effets croisés : Aucun effet croisé ne se produit.

Installations de référence : Installation de pelletisation KK3, LKAB, Kiruna, Suède.

Données opérationnelles : Non disponibles.

Aspects économiques : Cette technique fait partie de la conception des nouvelles installations. Aucune donnée n'est disponible pour les installations existantes.

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

EP.1 Précipitation électrostatique dans les broyeurs (broyage à sec)

Description : Après le broyage, les particules sont séparées par séparation aéraulique. Les grosses particules sont recyclées vers les broyeurs et les particules fines sont transportées vers le noduliseur de la chaîne d'agglomération, où sont fabriqués les pellets. L'air qui sert à la séparation aéraulique contient de grandes quantités de particules. Il s'agit avant tout de matière première qui doit être capturée. Les caractéristiques des particules sont telles que les émissions sont habituellement réduites avec efficacité par la méthode de précipitation électrostatique. Le précipité peut ensuite alimenter directement le noduliseur puisqu'il a la même composition que la matière première (minerai de fer, 62 %, et menu coke, 8,5 % [InfoMil, 1997]).

Principaux niveaux d'émission atteints : L'électrofiltre fonctionne plus ou moins comme une partie intégrante du système de séparation aéraulique. Les émissions peuvent être inférieures à 50 mg/Nm³. Les modèles d'électrofiltre les plus modernes peuvent atteindre des niveaux d'émission encore plus bas et par conséquent récupérer des matières premières par la même occasion.

Applicabilité : L'électrofiltre est applicable à toutes les installations existantes aussi bien qu'aux nouvelles.

Effets croisés : Le précipité issu de l'électrofiltre sert de matière première dans le noduliseur. L'opération de précipitation électrostatique consomme de l'énergie. Pour un flux de gaz de combustion de 300 000 Nm³/h et une production de 4 Mt/a, la consommation énergétique est d'environ 0,001 GJ/t de pellets.

Installations de référence : Installation de pelletisation, Hoogovens Ijmuiden, Ijmuiden, Pays-Bas.

Données opérationnelles : Non disponibles.

Aspects économiques : Aucune donnée de référence n'est disponible. L'électrofiltre fait partie intégrante de la conception de l'installation. Une partie des matières premières provenant de la phase de séparation aéraulique est récupérée par l'électrofiltre. On peut toutefois estimer qu'un dispositif de précipitation électrostatique sèche destiné au traitement d'un flux de gaz de combustion de 300 000 Nm³/h exigera un investissement d'environ 2 millions d'ECU₁₉₉₆. Les coûts d'exploitation peuvent être estimés à 0,03 à 0,05 ECU₁₉₉₆/t de pellets pour une installation de pelletisation dont la production annuelle est de 4 Mt et le flux de gaz de combustion en provenance du séchage est de 300 000 Nm³/h.

Documentation de référence : [InfoMil, 1997]

EP.2 *Suppression des particules dans les zones de séchage et de durcissement*

Description : Dans les installations de pelletisation, plusieurs techniques sont utilisées pour supprimer les poussières (particules). Les principales techniques utilisées sont les collecteurs mécaniques (pour les grosses particules), les multi cyclones, les dépoussiéreurs par voie humide, les filtres en tissu et les électrofiltres. Les électrofiltres et les filtres en tissu garantissent une efficacité de nettoyage élevée mais ne peuvent fonctionner que dans une gamme limitée de conditions de température et d'humidité. Les dépoussiéreurs par voie humide sont donc également utilisés dans les installations de pelletisation pour supprimer les poussières. Ils peuvent être très efficaces. L'eau d'épuration est collectée puis traitée par sédimentation (clarificateur). La matière solide retourne dans le processus où elle est recyclée. Les dépoussiéreurs par voie humide ont un avantage par rapport aux systèmes de dépoussiérage à sec car ils peuvent capturer une plus vaste gamme de polluants, tels que les composés acides (c'est-à-dire le HCl très soluble et un peu de HF), les fumées et les aérosols.

Principaux niveaux d'émission atteints : L'efficacité de la suppression de poussières des techniques mentionnées ci-dessus est normalement supérieure à 95 %, et à 99 % dans certains cas. On obtient des concentrations d'émissions poussiéreuses de 20 mg/Nm³, voire moins. Par exemple, dans la plus récente installation suédoise, KK3 à Kiruna, les concentrations des poussières dans les gaz de combustion émis dans la zone de séchage et de durcissement sont inférieures à 10 mg/Nm³ et les émissions totales de poussières de l'installation dans son ensemble sont inférieures à 100 g/t de pellets (voir le Tableau 5.1).

Applicabilité : Les techniques de fin de cycle décrites ici peuvent être appliquées aussi bien dans les installations existantes que nouvelles.

Effets croisés : Normalement, la poussière collectée est recyclée dans le processus de pelletisation. Dans le cas des dépoussiéreurs, un surplus d'eau doit être évacué après un traitement approprié.

Installations de référence : Installation de pelletisation KK3, LKAB, Kiruna, Suède.

Données opérationnelles : Aucun problème spécifique n'est connu.

Aspects économiques : Non disponibles.

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

EP.3 Absorbeur à suspension gazeuse

Description : L'absorbeur à suspension gazeuse (GSA) est un procédé semi-sec. Un lait de chaux humide est vaporisé dans les gaz résiduels à l'intérieur d'un réacteur à lit fluidisé. L'eau contenue dans le lait de chaux s'évapore et la chaux éteinte réagit avec les impuretés (HF, HCl et SO₂). Une concentration élevée en particules dans les gaz résiduels améliore les performances du GSA en augmentant la surface de contact ; les particules sont recouvertes par la solution de chaux éteinte.

Après le réacteur à lit fluidisé, les gaz résiduels sont menés à travers des cyclones. Une partie du produit sec (chaux ayant réagi et particules) est enlevée à ce stade et réinjectée dans le réacteur afin de maintenir une concentration élevée en particules dans le réacteur. Le nettoyage final des gaz résiduels est effectué par précipitation électrostatique.

Le niveau d'injection de la chaux éteinte est proportionnel à la concentration en SO₂ des gaz résiduels.

Principaux niveaux d'émission atteints : Le Tableau 5.2 résume les données relatives aux performances du GSA dans une installation de pelletisation. Ces données ont été fournies par la société suédoise LKAB, qui utilise un GSA pour traiter les gaz de combustion de la bande de durcissement dans leur installation de pelletisation KK3. Les gaz résiduels de la zone de séchage de la bande de durcissement sont acheminés à travers des épurateurs de Venturi afin d'enlever les particules avant l'émission dans l'air.

Les valeurs du Tableau 5.2 montrent que cette installation rejette dans l'ensemble des émissions peu élevées.

Composé	Avant le GSA (mg/Nm ³)	Après le GSA (mg/Nm ³)	Efficacité de suppression (%)
Oxydes de soufre (SO ₂)	300	9,6	96,8
Acide fluorhydrique (HF)	78	< 0,1	99,9
Acide chlorhydrique (HCl)	133	0,6	99,5
Particules	1 400	2	99,9

Tableau 5.2 : Performances de l'absorbeur de particules en suspension dans le gaz (GSA) de l'installation de pelletisation KK3 de LKAB, Kiruna (Suède) en 1995 – [InfoMil, 1997]

Les données suivantes correspondent à cette installation :

Cette installation a été mise en service en janvier 1995 et a une capacité de production annuelle de 4,5 Mt. En 1995, la production réelle était de 2,8 Mt de pellets. L'installation est équipée de deux brûleurs, l'un dans la zone de cuisson de la bande de durcissement et l'autre destiné à accroître la température des effluents gazeux de la seconde section de refroidissement, qui servent d'air de préchauffage dans la première zone de préchauffage.

Applicabilité : Le GSA est une mesure de fin de cycle qui peut être appliquée à la fois aux installations existantes et aux nouvelles.

Effets croisés : Le GSA est un dispositif semi-sec qui intègre un électrofiltre comme dernière phase de nettoyage. Le précipité sec de l'électrofiltre contient *des particules*, du CaSO₃, du CaCl₂ et du CaF₂ ainsi que de la chaux non réagie (CaO). Le précipité sec est mis à part.

La consommation de chaux éteinte est de 264 kg/h (théorique) et la consommation d'eau de 10,6 m³/h (théorique). On utilise en outre de l'air sous pression (7 bar) à hauteur de 690 kg/h (théorique). La consommation d'énergie est d'environ 0,64 MJ/t de pellets (théorique).

Installations de référence : Installation de pelletisation KK3, LKAB, Kiruna, Suède.

Données opérationnelles : Aucun problème spécifique n'est connu.

Aspects économiques : Non disponibles.

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

5.4 Conclusions

Pour comprendre ce chapitre et son contenu, l'attention du lecteur est attirée sur la préface du présent document, et en particulier sur sa cinquième section : « Comment comprendre et utiliser le présent document ». Les techniques et leurs niveaux d'émissions et/ou de consommation – ou les fourchettes de valeurs – associés exposés dans le présent chapitre ont été évalués par le biais d'un processus itératif qui comprend les étapes suivantes :

- identification des principaux enjeux environnementaux pour le secteur ; pour les installations de pelletisation, il s'agit des poussières, des SO_x, NO_x, HCl et HF ;
- étude des techniques les plus appropriées pour répondre à ces enjeux ;
- identification des meilleurs niveaux de performance environnementale, sur la base des données disponibles dans l'Union Européenne et dans le monde entier ;
- étude des conditions dans lesquelles ces niveaux de performance sont atteints, tels que les coûts, les effets croisés, les principaux moteurs de la mise en œuvre de ces techniques ;
- sélection des Meilleures Techniques Disponibles (MTD) et des niveaux d'émissions et/ou de consommation associés pour ce secteur au sens général, en vertu de l'Article 2(11) et de l'Annexe IV de la Directive.

L'avis des spécialistes du Bureau IPPC européen et du Groupe de Travail Technique (GTT) concerné a joué un rôle essentiel dans chacune de ces étapes et dans la façon dont l'information est présentée ici.

Sur la base de cette évaluation, ce chapitre présente les techniques et, autant que possible, les niveaux d'émissions et de consommation associés à l'utilisation de la MTD, que l'on considère comme appropriées pour le secteur dans son ensemble et qui dans de nombreux cas reflètent la performance actuelle de certaines installations de ce secteur. Lorsque les niveaux d'émissions et/ou de consommation « associés aux meilleures techniques disponibles » sont présentés, il faut comprendre que ces niveaux représentent la performance environnementale qui pourrait être anticipée comme résultat de l'application, dans ce secteur, des techniques décrites, en gardant à l'esprit l'équilibre des coûts et les avantages inhérents à la définition de la MTD. Toutefois, il ne s'agit en aucun cas des valeurs-limites d'émissions ou de consommation et ils ne doivent pas être interprétés comme tels. Dans certains cas, il peut être techniquement possible d'atteindre de meilleurs niveaux d'émissions et/ou de consommation mais, à cause des coûts que cela implique ou des questions d'effets croisés, on ne peut pas envisager que ces méthodes conviennent en tant que MTD pour le secteur dans son intégralité. En revanche, ces niveaux peuvent être considérés comme justifiés dans certains cas plus spécifiques où ils constituent un élément moteur spécifique.

Les niveaux d'émissions et de consommation associés à l'utilisation de la MTD doivent être considérés en relation avec d'éventuelles conditions de référence spécifiques (périodes de calcul des moyennes, par exemple).

Le concept de « niveaux associés à la MTD » décrit ci-dessus doit être distingué de l'expression : « niveau réalisable » utilisée à d'autres moments dans le présent document. Lorsque l'on dit d'un niveau qu'il est « réalisable » grâce à une technique ou à un ensemble de techniques donnés, il faut comprendre que l'on

peut s'attendre à ce que le niveau soit atteint sur une période de temps importante dans une installation bien entretenue et convenablement exploitée ou dans un processus ayant recours à ces techniques.

Lorsque cela est possible, les données relatives aux coûts figurent aux côtés de la description des techniques présentées dans le chapitre précédent. Elles donnent une indication approximative de l'ordre de grandeur des coûts encourus. Toutefois, le coût réel d'application d'une technique dépendra fortement de la situation spécifique relative, par exemple, aux taxes ou aux redevances ainsi qu'aux caractéristiques techniques de l'installation concernée. Le présent document ne peut pas évaluer intégralement ce type de paramètres liés au site. En l'absence de données sur les coûts, des conclusions relatives à la viabilité économique des techniques sont tirées des observations pratiquées sur les installations existantes.

L'intention est que les MTD générales du présent chapitre puissent servir à évaluer les performances actuelles d'une installation existante ou un projet de nouvelle installation et, par là même, contribuer à déterminer les conditions appropriées, basées sur les MTD, pour l'installation concernée. Il est prévu que les nouvelles installations puissent être conçues pour atteindre, voire dépasser, les niveaux des MTD générales présentés ici. On estime également que l'on peut raisonnablement s'attendre, au fil du temps, à ce que de nombreuses installations existantes se rapprochent des niveaux de MTD générales ou les dépassent.

Si les BREF n'établissent aucune norme juridiquement contraignante, ils ont pour objectif d'informer et de conseiller le secteur, les États membres et l'opinion publique sur les niveaux d'émissions et de consommation qu'il est possible d'atteindre grâce à l'utilisation de techniques spécifiques. Les valeurs-limites correspondantes pour tout cas de figure donné devront être déterminées en tenant compte des objectifs de la Directive IPPC ainsi que des facteurs locaux.

En ce qui concerne les installations de pelletisation, les techniques ou combinaisons de techniques suivantes sont considérées comme des MTD. La hiérarchisation et le choix des techniques différeront selon les circonstances locales. On peut également envisager toute autre technique ou combinaison de techniques permettant d'atteindre ou de dépasser ce niveau de performance ou d'efficacité ; ces techniques peuvent être en cours de mise au point, émergentes ou déjà disponibles mais non mentionnées ou décrites dans le présent document.

1. Suppression efficace **des particules**, du SO₂, du HCl et du HF présents dans les gaz résiduels de la bande de durcissement, au moyen :

- d'un lavage *ou*
- d'une désulfurisation semi-sèche suivie d'un dépoussiérage (par exemple à l'aide d'un absorbeur à suspension gazeuse ou GSA) ou tout autre dispositif d'une efficacité similaire.

L'efficacité de suppression qu'il est possible d'atteindre pour ces composés est :

- particules : > 95 %, ce qui correspond à une concentration réalisable inférieure à 10 mg de poussières /Nm³
- SO₂ : > 80 %, ce qui correspond à une concentration réalisable inférieure à 20 mg de SO₂ /Nm³
- HF : > 95 %, ce qui correspond à une concentration réalisable inférieure à 1 mg de HF /Nm³

- HCl : $> 95 \%$, ce qui correspond à une concentration réalisable inférieure à 1 mg de HCl /Nm³

2. Les émissions dans l'eau depuis les dépoussiéreurs sont minimisées grâce à la mise en circuit fermé du cycle de l'eau, à la précipitation des métaux lourds, à la neutralisation et à la filtration sur sable.

3. Réduction des émissions de NO_x intégrées au processus ;

La conception de l'installation doit être optimisée pour permettre une récupération de la chaleur sensible et une réduction des émissions de NO_x dans toutes les sections de cuisson (bande de durcissement et, le cas échéant, séchage au niveau des broyeurs).

Dans une installation équipée d'un four à grille et utilisant du minerai à magnétite, on a atteint des émissions de NO_x inférieures à 150g/t de pellets. Dans d'autres installations (existantes ou nouvelles, du même type ou non, utilisant les mêmes matières premières ou non), les solutions doivent être élaborées sur-mesure et le niveau de rejets de NO_x qu'il est possible d'atteindre peut varier d'un site à l'autre.

4. Minimisation des émissions de NO_x en fin de cycle grâce à des techniques applicables en fin de cycle : réduction catalytique sélective ou toute autre technique présentant une efficacité de réduction du NO_x au moins égale à 80 %.

En raison de son coût élevé, la dénitrification des gaz résiduels ne doit être envisagée que lorsque les normes de qualité environnementale sont susceptibles de ne pas être atteintes par d'autres moyens ; à ce jour, aucune installation commerciale de pelletisation n'est équipée d'un système de dénitrification.

5. Minimisation des déchets et sous-produits solides.

Les techniques suivantes sont considérées comme des MTD par ordre de priorité descendant :

- minimisation de la production de déchets
- utilisation efficace (recyclage ou réutilisation) des déchets et sous-produits solides
- élimination contrôlée des déchets et sous-produits inévitables

6. Récupération de la chaleur sensible.

La plupart des installations de pelletisation enregistrent déjà un fort taux de récupération d'énergie. Pour des améliorations supplémentaires, il est généralement nécessaire de mettre au point des solutions sur-mesure.

En principe, compte-tenu de la préface, les techniques énumérées dans les points 1 à 6 s'appliquent à la fois aux installations existantes et aux nouvelles.

5.5 Techniques émergentes

5.5.1 Réduction intégrée au processus des émissions de NO_x au niveau de la bande de durcissement

Description : La section PI.2 a déjà brièvement présenté la formation de NO_x dans l'installation de pelletisation ainsi que les mesures de réduction possibles. Toutefois, seules quelques unes de ces mesures ont véritablement été appliquées dans les installations de pelletisation. Il est possible d'identifier quelques mesures comme des techniques émergentes. L'applicabilité d'une technique donnée à un site donné dépend d'un grand nombre de facteurs et ne peut être évoquée ici.

Les mesures ci-dessous ont pour objectif de réduire la formation de « NO_x thermique » (voir PI.2) en réduisant la température (maximale) de la flamme du/des brûleurs ou en limitant la disponibilité de l'oxygène moléculaire (O_2) ou de l'azote moléculaire (N_2). Les mesures suivantes ont été identifiées :

1. *Injection d'eau dans les brûleurs de la bande de durcissement*

Cette mesure réduit les températures maximales des flammes. Cependant, l'efficacité énergétique diminue avec l'augmentation de la quantité d'eau injectée.

2. *Utilisation des gaz extraits en provenance d'autres processus comme air de combustion*

Cette mesure a pour objectif de réduire la disponibilité de l'oxygène (O_2) dans les brûleurs, ce qui permet de réduire l'émission de NO_x . L'air extrait utilisé peut provenir de l'installation de pelletisation elle-même ou d'une autre source (par exemple : cowper, installation de frittage, chauffage du four à coke dans le cas où l'installation de pelletisation fait partie d'une aciérie intégrée). Cette mesure peut avoir une influence significative sur le fonctionnement de l'installation.

3. *Injection indirecte d'eau dans la section de refroidissement*

La vapeur ainsi produite peut réduire la formation de NO_x dans les brûleurs, mais ce n'est pas certain. En outre, cette mesure affecte les processus de séchage et de refroidissement au niveau de la bande de durcissement.

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

5.5.2 Agglomération à froid de pellets/briquettes

Description : l'agglomération à froid a récemment été mise en œuvre par des aciéries au Japon, aux Etats-Unis et en Suède. Par ce procédé, on durcit le minerai par des moyens non-thermiques à l'aide d'un liant. Les procédés d'agglomération à froid sont conçus pour compléter les processus de frittage et de pelletisation existants en agglomérant les minerais en morceaux et les fines de minerai avec de la matière recyclée. Jusqu'à 15 % (mais en règle générale 3 à 5 %) des pellets et briquettes ainsi agglomérés peuvent ensuite être utilisés dans la charge du haut fourneau.

Cette agglomération à froid peut se faire selon plusieurs processus. L'un d'entre eux, mis au point par la Nippon Steel Corporation (usine de Nagoya) associe les poussières sèches, le minerai de fer, les

poussières humides, les boues et la poussière de coke avec un liant dans un noduliseur. Après 10 jours d'aération dans une enceinte de stockage, les pellets sont assez solides pour être utilisés dans le haut fourneau.

D'autres procédés, tels que le procédé NKK-Corac (Usine de NKK Niigata) consistent en un durcissement continu avec du laitier pour liant. On obtient ainsi un temps de durcissement réduit d'environ 10 heures.

Principaux niveaux d'émission atteints : Les techniques d'agglomération à froid n'émettent ni SO_2 ni NO_x . Les pellets et briquettes ainsi constitués ne peuvent pas complètement remplacer les agglomérés par frittage ou par pelletisation. Cette technique pourrait être utilisée pour les fines particules de minerai de fer et pour les matières recyclées généralement envoyées à l'installation de frittage.

Statut : Cette technique est appliquée à l'échelle commerciale au Japon, aux USA et en Suède. Toutefois, les pellets/briquettes agglomérés à froid ne peuvent pas remplacer complètement les agglomérés par frittage ou les pellets autofondants.

Documents de référence : [EC Sinter/BF, 1995]

5.5.3 Autres techniques possibles

Bien que seules quelques techniques aient été appliquées en fin de cycle dans les installations de pelletisation, on peut s'attendre à ce que plusieurs autres techniques disponibles (sur le plan commercial) soient applicables sans poser de sérieuse difficulté technique.

En ce qui concerne les émissions de NO_x , les techniques disponibles suivantes pourraient être applicables aux installations de pelletisation :

- Réduction catalytique sélective (SCR)
- Procédé Shell-denox
- Procédé Degussa H_2O_2
- Carbone activé régénéré (RAC)

En ce qui concerne les émissions de SO_2 , les techniques disponibles suivantes pourraient être applicables aux installations de pelletisation :

Désulfurisation par voie humide :	Procédé de régénération du MgO Procédé du double alcali Procédé du NaOH Système KHI Procédé CFB Procédé d'épuration AIRFINE
Désulfurisation semi-sèche :	Fläkt/Niro Fläkt/Drypac Fläkt CDAS Walther
Désulfurisation sèche :	Injection d'alcali sec Carbone activé régénéré (RAC)

Désulfurisation avec liquide d'épuration : Procédé Wellman-Lord
 Procédé Fläkt-boliden
 Procédé Degussa H_2O_2
 Solinox

6 COKERIES

La pyrolyse du charbon consiste à chauffer le charbon dans une atmosphère exempte de réactions d'oxydation pour produire des gaz, des liquides ainsi qu'un résidu solide (résidu charbonneux ou coke). La pyrolyse du charbon à haute température est appelée carbonisation. Au cours de ce processus, la température des gaz de combustion est normalement comprise entre 1 150 et 1 350°C, ce qui chauffe indirectement le charbon jusqu'à 1 000 à 1 100°C pendant 14 à 24 heures et produit le coke de haut fourneau et de fonderie. Le coke est le principal agent réducteur dans les hauts fourneaux, et il est impossible de le remplacer intégralement par d'autres combustibles tels que le charbon. Le coke sert à la fois de matériau de support et de matrice à travers laquelle le gaz circule dans la colonne de charge.

Seuls certains types de charbon, tels que le charbon à coke ou le charbon bitumineux, dotés des propriétés plastiques qui conviennent, peuvent être transformés en coke et, comme pour les minerais, on peut en mélanger plusieurs types afin d'améliorer la productivité du haut fourneau, d'allonger la durée de vie de la batterie de fours à coke, etc.

6.1 Procédés et techniques appliqués

C'est dans les années 1940 que les plans de base des cokeries modernes ont été établis. Les fours étaient d'environ 12 m de long, 4 m de haut et 0,5 m de large, munis de portes des deux côtés. L'air d'alimentation était préchauffé par les gaz de sortie chauds, la récupération de chaleur permettait d'atteindre des températures plus élevées et d'augmenter les vitesses de cuisson. Depuis les années 1940, le processus a été mécanisé et les matériaux de construction ont été améliorés sans qu'il y ait eu de profonds changements de conception. Les ensembles actuels peuvent contenir jusqu'à 60 fours pouvant atteindre 14 m de long et 6 m de haut. Pour des raisons de transfert de chaleur, les largeurs sont restées comprises entre 0,3 et 0,6 m. Chacun des fours de la batterie contient jusqu'à 30 tonnes de charbon. La Figure 6.1 présente une batterie de ce type. Certaines cokeries de construction récente ont encore augmenté leurs dimensions. Ainsi, les chambres de la nouvelle cokerie « Kaiserstuhl », qui a été mise en service fin 1992, font 18 m de long, 7,6 m de haut et 0,61 m de large, et contiennent environ 65 t de charbon [Schönmuth, 1994].



Figure 6.1 : Photographie d'une batterie de fours à coke qui montre les chambres, la tour à charbon et le collecteur principal du gaz de cokerie

Ces dernières années, les évolutions se sont aussi particulièrement concentrées sur la minimisation des émissions au cours du processus et sur l'amélioration des conditions de travail des opérateurs.

Le processus de fabrication du coke se décompose comme suit :

- manutention du charbon,
- opérations de batterie (enfournement, chauffage/cuisson du charbon, cokéfaction, défournement, extinction du coke),
- manutention et préparation du coke,
- collecte et traitement des gaz de cokerie avec récupération des sous-produits.

Pour rendre la description du traitement des eaux usées plus claire, les flux d'eau qui accompagnent le processus de cokéfaction sont également décrits dans le présent document.

La Figure 6.2 présente un schéma simplifié de la séquence complète d'opérations et des processus nécessaires à la production du coke (avec les sources d'émissions). Les principales étapes évoquées ci-dessus sont décrites plus en détail dans la suite.

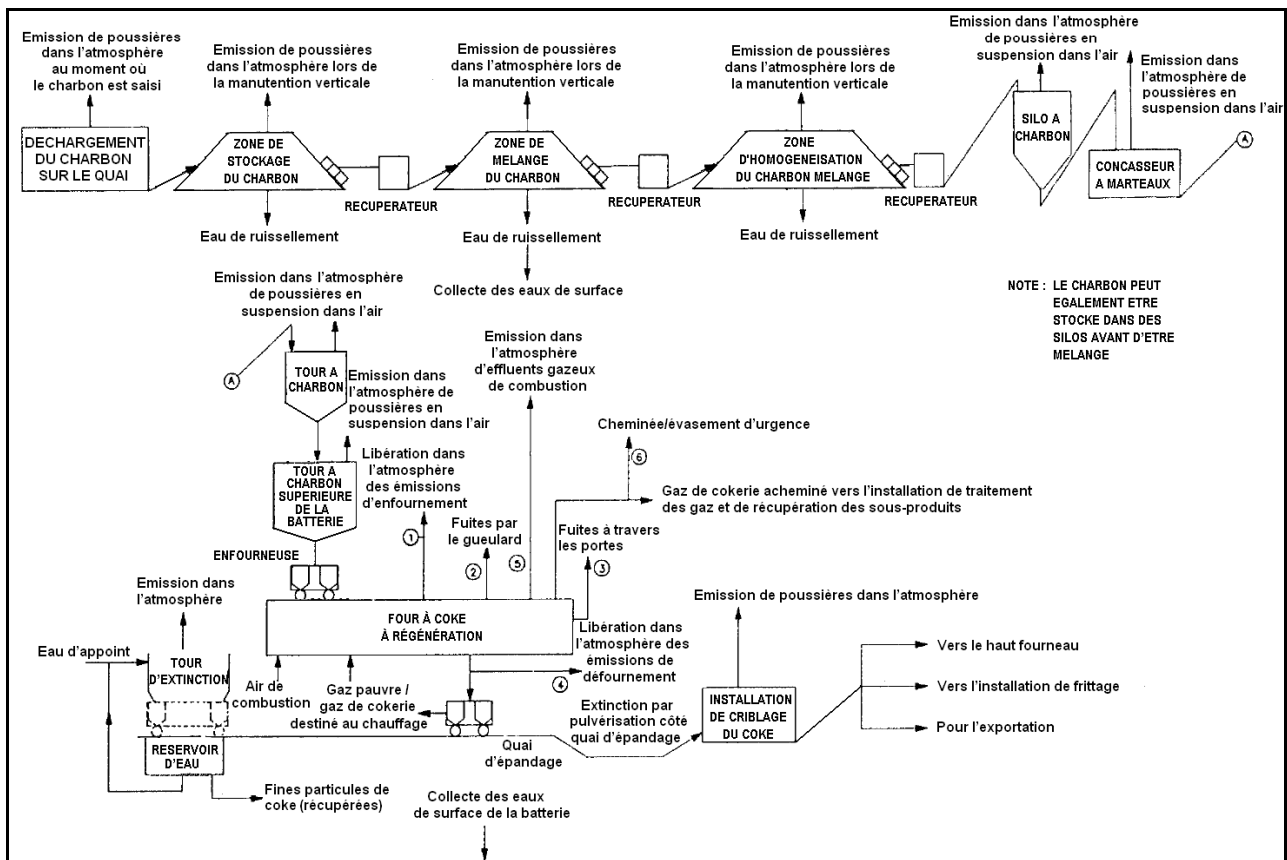


Figure 6.2 : Schéma opérationnel typique d'une cokerie, qui met en évidence les sources d'émissions
– [UK Coke, 1995]

6.1.1 Manutention du charbon

La manutention du charbon comprend les étapes suivantes :

- Déchargement du charbon : le charbon est déchargé des navires ou des trains sur un système de transport ou en vue d'un stockage. En règle générale, on utilise de grandes grues munies de grappins. Le vent peut entraîner des émissions de poussière de charbon;
- Stockage du charbon: les cokeries sont normalement associées à de vastes zones de stockage du charbon. Le vent peut entraîner des émissions de poussière de charbon. Il faut veiller à appliquer un traitement convenable (sédimentation) aux eaux de ruissellement;
- Transport du charbon : transport du charbon sur un convoyeur. Il faut tenir compte des points de transfert possibles à l'extérieur des bâtiments et du transport par voie routière;
- Préparation du charbon : la préparation du charbon comprend le mélange en couche, le mélange en silo et le concassage, qui peuvent entraîner des émissions de poussières. Lors du mélange, des substances recyclées telles que le goudron peuvent être ajoutées, qui peuvent entraîner des émissions de composés volatils;
- Chargement de la tour à charbon (possibilité d'émissions de poussière de charbon);
- Chargement de l'enfourneuse (possibilité d'émissions de poussière de charbon).

6.1.2 Fonctionnement d'une batterie de fours à coke

Les opérations qui se déroulent dans la batterie d'une cokerie sont les suivantes :

- Enfournement du charbon,
- Chauffage/cuisson dans les chambres,
- Cokéfaction,
- Défournement,
- Extinction,

Ces opérations sont les principales sources d'émissions en provenance d'une cokerie. Elles sont donc détaillées avec plus de précision ici, avec les informations relatives aux sources des émissions. La figure 6.3 illustre la configuration d'une batterie et matérialise les principales sources d'émissions.

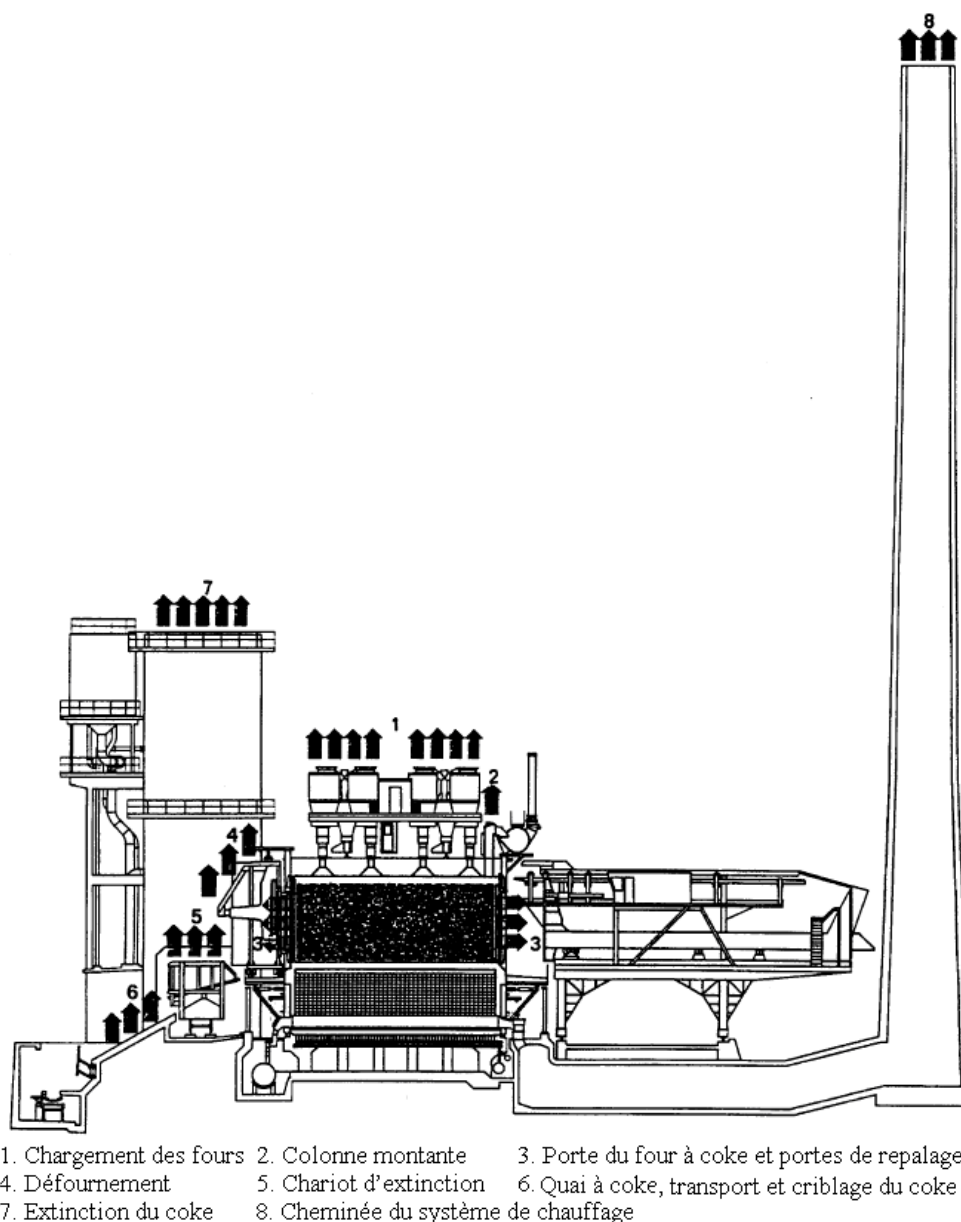


Figure 6.3 : Schéma d'une batterie de fours à coke avec les principales sources d'émissions

6.1.2.1 Enfournement du charbon

Il existe plusieurs techniques pour charger les fours à coke avec le charbon pulvérisé (70 à 85 % des particules sont inférieures à 3mm) dans les bouches d'enfournement. La technique la plus usitée est le chargement par gravité à l'aide des enfourneuses (Figure 6.4). Ce chargement peut être simultané ou séquentiel et se fait à l'aide de distributeurs à vis horizontaux à vitesse contrôlée ou de soles tournantes, mais d'autres systèmes sont possibles. Quel que soit le système, le flux de charbon doit être gardé sous contrôle. Des mesures générales sont données pour tous ces systèmes. Leur objectif est d'atteindre un enfournement « sans fumées » (c'est-à-dire un chargement qui dégage des émissions réduites).

L'enfournement par pipeline ou le pilonnage sont rarement appliqués.

Le concept et la géométrie des orifices et des systèmes de chargement sont des éléments très importants dans la réduction des émissions d'enfournement.

A l'intérieur du processus, il est possible de faire une distinction entre :

- les émissions qui se produisent au cours du processus d'enfournement lui-même,
- l'évacuation et le nettoyage des gaz d'enfournement,
- les émissions à travers les portes de repalage lors du nivellement du charbon par le bras de repalage,
- les émissions fugaces en provenance des matériaux déversés sur le dessus du four.

On peut utiliser l'une de ces multiples techniques (ou une combinaison de plusieurs d'entre elles) selon la configuration de l'installation.

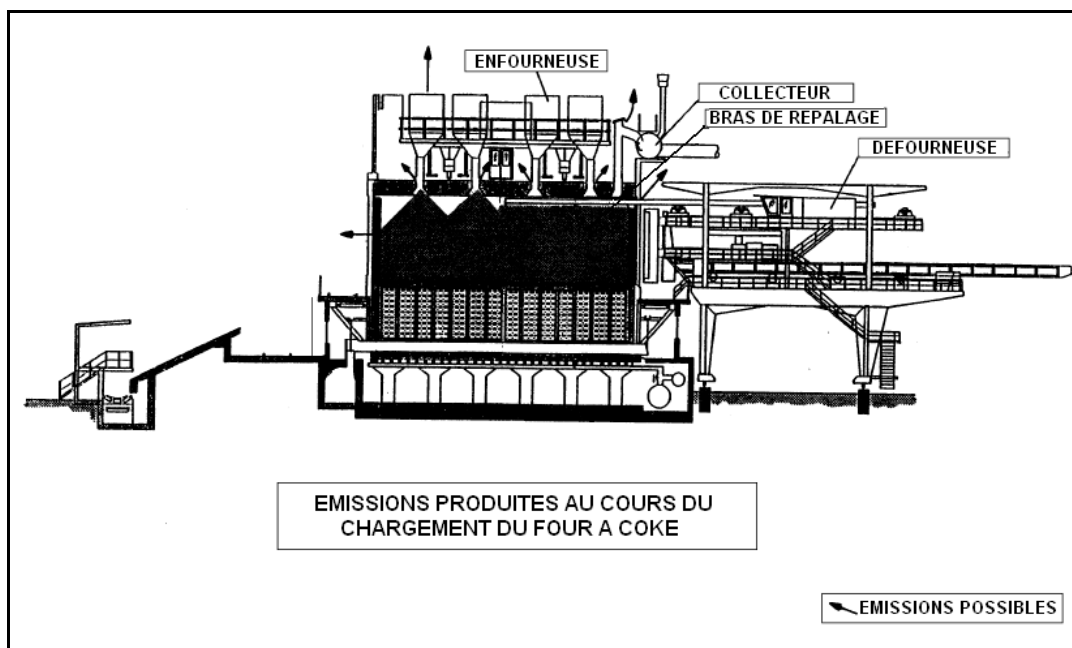


Figure 6.4 : Schéma de l'enfournement du charbon dans la chambre d'un four à coke à l'aide d'une enfourneuse, avec les points de rejet des émissions (indiqués par des flèches)

6.1.2.2 Chauffage/cuisson dans les chambres

Les chambres des fours à coke sont séparées par des murs chauffants. Ils sont constitués d'un certain nombre de carneaux de chauffage équipés de buses pour l'alimentation en combustible, ainsi que d'un ou plusieurs compartiment(s) de prise d'air, selon la hauteur du mur du four à coke. La température moyenne

au niveau de la brique-buse – qui caractérise le fonctionnement des carneaux – est généralement fixée entre 1 150 et 1 350°C. En général, on utilise le gaz de cokerie épuré comme combustible, mais d'autres gaz tels que le gaz de haut fourneau (enrichi) peuvent également servir.

Afin d'améliorer l'efficacité énergétique, des régénérateurs sont situés directement sous les fours où ils transfèrent la chaleur provenant des gaz de combustion à l'air de combustion ou au gaz de haut fourneau. La Figure 6.5 est le schéma d'un système de chauffage de four à coke et présente les points d'émissions. Si les murs chauffants comportent des fissures et ne sont donc pas complètement étanches (ce qui est très souvent le cas), le gaz de cokerie rejoindra le gaz de combustion et sera émis avec lui à travers la cheminée.

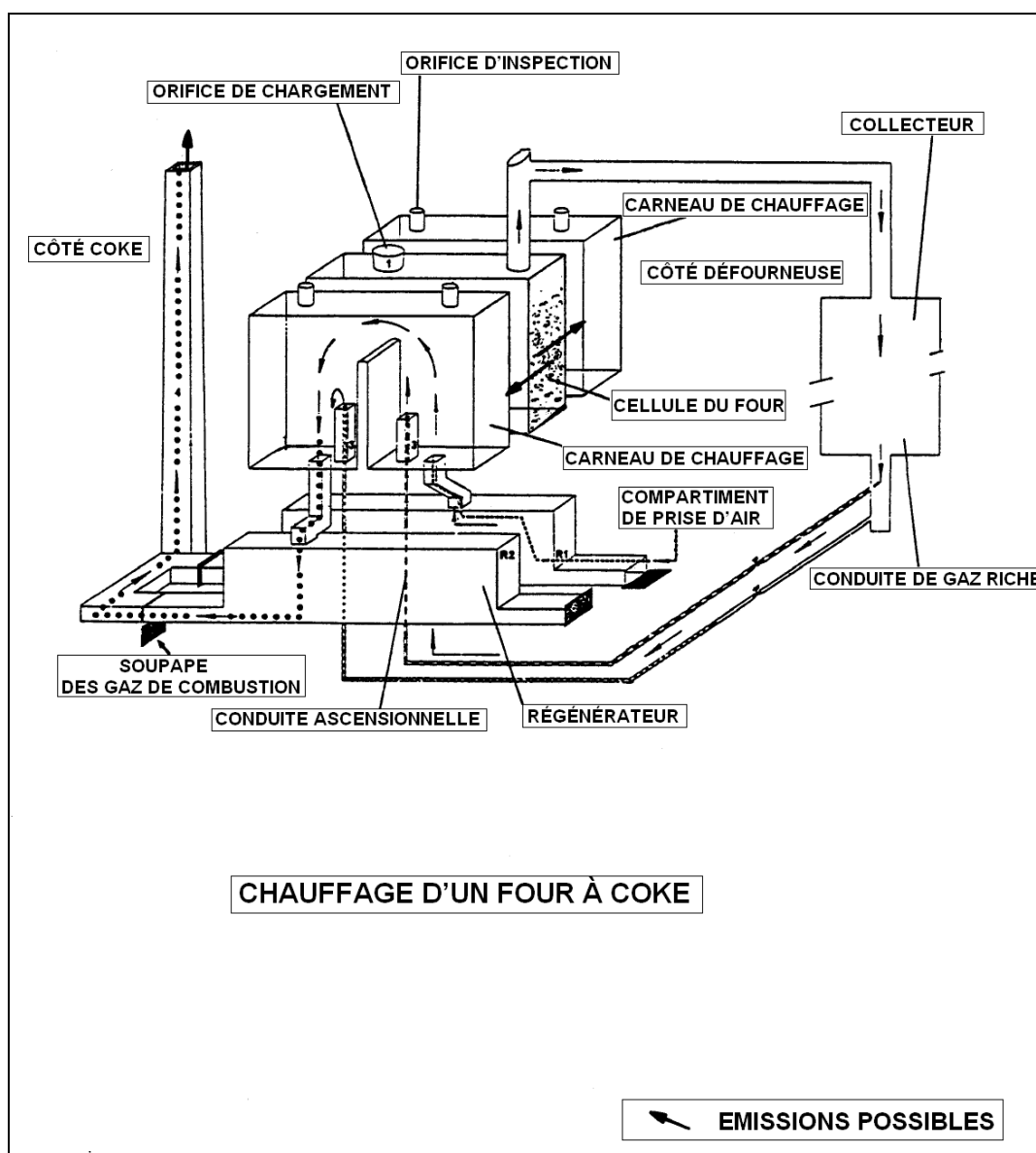


Figure 6.5 : Schéma du système de chauffage d'un four à coke, avec les points d'émission (indiqués par des flèches)

Le schéma ci-dessus est représentatif d'une combustion à étape unique. Aujourd'hui, cependant, les installations les plus modernes opèrent une combustion en plusieurs étapes. En règle générale, le gaz de cokerie utilisé dans son intégralité est préalablement désulfuré.

6.1.2.3 Cokéfaction

Le processus de carbonisation commence immédiatement après l'enfournement du charbon. Le gaz et l'humidité dégagés représentent environ 8 à 11 % du charbon enfourné. Ce gaz de cokerie brut est envoyé dans le collecteur principal par le biais de conduites ascensionnelles. La forte teneur calorifique de ce gaz fait qu'après une épuration (voir le traitement du gaz de cokerie), il peut servir de combustible (par exemple pour le chauffage de la batterie). Le charbon est chauffé par le système de chauffage/cuisson décrit plus haut et reste dans le four à coke jusqu'à ce que son centre ait atteint une température de 1 000 à 1 100°C.

Selon la largeur du four et les conditions de chauffage, le processus de cokéfaction prend entre 14 et 24 heures. La Figure 6.6 présente les principales sources d'émissions lors de la cokéfaction. Il peut s'agir d'émissions à travers les portes, à travers les bouches d'enfournement ou les conduites ascensionnelles mais également, en cas de fissures dans les murs, des émissions de gaz de cokerie par l'intermédiaire des gaz de chauffage.

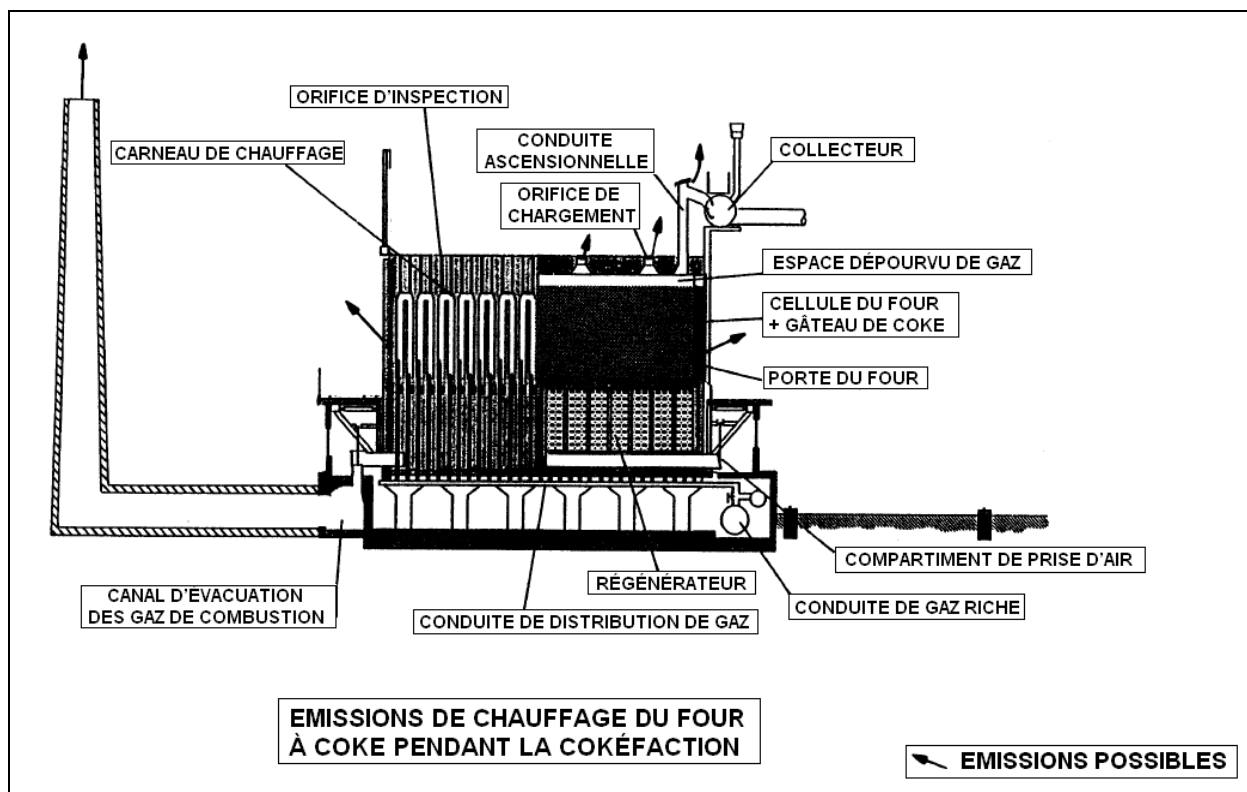


Figure 6.6 : Schéma d'une chambre de four à coke, avec les points d'émission possibles au cours de la cokéfaction (indiqués par des flèches)

1 000 kg de charbon donnent entre 750 et 800 kg de coke et environ 325 m³ de gaz de cokerie, ce qui correspond à environ 187 kg de gaz de cokerie. Il faut toutefois noter que le rendement en coke et la production et la composition du gaz de cokerie dépendent fortement de la composition du charbon et de la durée de cokéfaction.

6.1.2.4 Défournement et extinction du coke

Le coke intégralement carbonisé est défourné dans un conteneur par la crémaillère de la défourneuse (Figure 6.7). Le contact avec l'oxygène atmosphérique entraîne une combustion instantanée du coke. Le conteneur utilisé est habituellement un chariot d'extinction qui transporte le coke chaud vers une tour d'extinction. A cet endroit, le coke est éteint directement par de grandes quantités d'eau. L'eau qui ne s'évapore pas peut être récupérée et utilisée pour le lot suivant, ce qui permet d'éviter les émissions d'eaux usées.

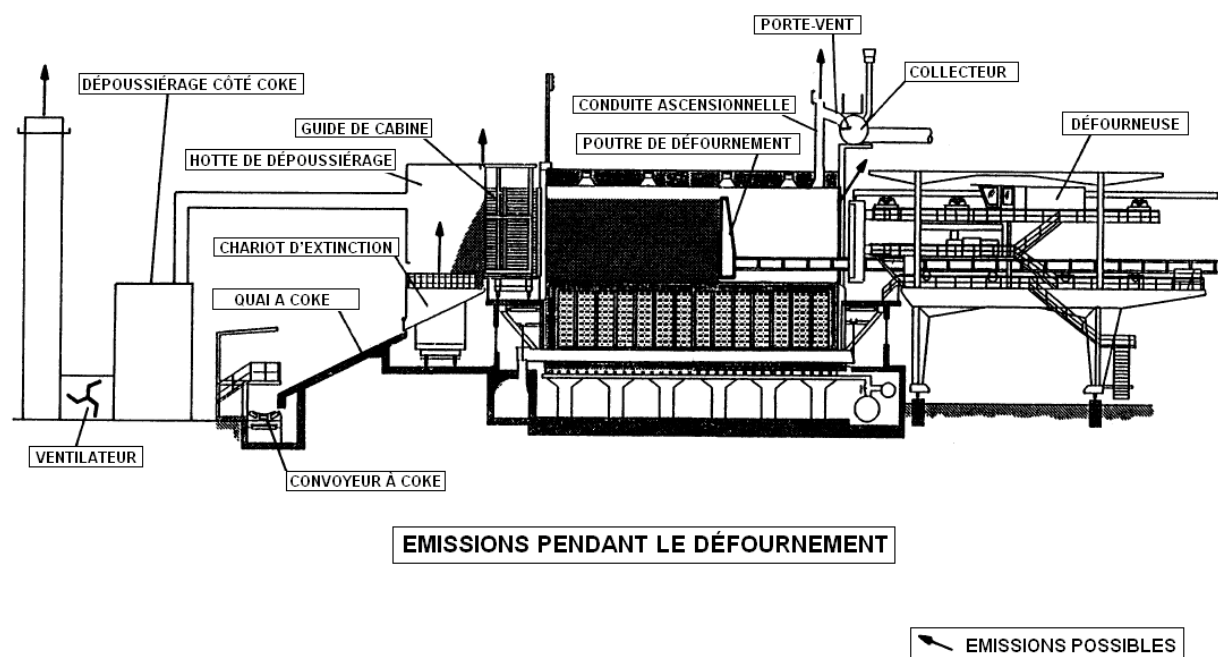


Figure 6.7 : Défournement du coke carbonisé depuis le four dans un chariot d'extinction. Les points d'émissions sont indiqués par des flèches.

Dans un autre système, appelé extinction à sec, le chariot d'extinction emporte le coke chaud dans une chambre d'extinction verticale. Des gaz d'extinction inertes circulent autour de la chambre qui est isolée de l'atmosphère, ce qui évite la combustion pendant que le coke est refroidi. Le gaz est refroidi par un échangeur de chaleur afin de récupérer l'énergie thermique.

6.1.2.5 Manutention et criblage du coke

Après l'extinction, le coke est conservé en piles à partir desquelles il est transporté par des convoyeurs (avec des points de transfert), par la route, par voie ferrée ou par une quelconque combinaison de ces possibilités. Le coke est enfin concassé puis criblé. Les particules les plus petites (< 20 mm) sont généralement mises de côté pour alimenter le processus de frittage, et les plus grosses (20 à 70 mm) sont utilisées dans le haut fourneau.

La manutention et le criblage donnent lieu à des émissions de poussières.

6.1.3 Collecte et traitement du gaz de cokerie avec récupération des sous-produits

Le gaz de cokerie brut a une teneur calorifique relativement élevée du fait de la présence d'hydrogène, de méthane, de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures. En outre le gaz de cokerie brut contient des produits très utiles tels que le goudron, l'huile légère (principalement constituée de BTX : benzène, toluène et xylènes), le soufre et l'ammoniac. Le Tableau 6.1 présente la composition du gaz de cokerie brut. Pour différentes raisons, le gaz de cokerie doit être traité avant de servir de combustible.

Rendement en gaz brut [m ³ /h/t de charbon]	Densité du gaz brut [kg/Nm ³]	H ₂ [% vol.]	CH ₄ [% vol.]	C _x H _y [% vol.]	CO [% vol.]	H ₂ S [% vol.]	BTX [g/Nm ³]	HAP [mg/Nm ³]	NH ₃ [g/Nm ³]	CO ₂ [% vol.]
12 – 25	0,53 – 0,62	39 – 65	32 – 42	3 – 8,5	4 – 6,5	3 – 4	23 – 30	n. d.	6 – 8	2 – 3

Légende : n.d. = non disponible

Tableau 6.1 : Composition du gaz de cokerie brut – d’après [InfoMil, 1997]

La composition du gaz de cokerie dépend de la durée de cokéfaction et de la composition du charbon. Les données ci-dessus se rapportent à un charbon qui ne comporte ni eau ni cendres. La teneur en H₂S de l’exemple donné est relativement élevée. Dans d’autres installations, on obtient généralement des fourchettes de 3,5 à 4,5 g de H₂S /Nm³.

Le goudron et le naphtalène contenus dans le gaz brut sont susceptibles d’obstruer les conduites et les équipements ; ils sont donc les premiers à être enlevés. Pour chaque tonne de coke produit, il est possible de récupérer environ 35 à 45 kg de goudron. On peut également récupérer plusieurs produits dans ce goudron, tels que de la poix, de l’huile d’anthracène, du mazout, de l’huile de naphtalène, de l’huile carbolique (phénol) et de l’huile légère.

Les composés soufrés et l’ammoniac sont à l’origine de la corrosion des conduites et des équipements et les composés soufrés engendrent des émissions de SO₂ lorsque le gaz de cokerie est utilisé comme combustible. Pour chaque tonne de coke produite, on obtient approximativement 3 kg d’ammoniac et 2,5 kg de H₂S.

Dans certains cas l’huile légère, et en particulier le BTX, est récupérée dans le gaz de cokerie brut comme un sous-produit de valeur. Il est possible de récupérer jusqu’à 15 kg d’huile légère par tonne de coke produite. Cette huile contient du benzène, du toluène, des xylènes, des hydrocarbures non-aromatiques, des hydrocarbures aromatiques homologues, du phénol, des bases pyridines ainsi que d’autres composés organiques tels que des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

La Figure 6.8 présente une installation de traitement du gaz de cokerie typique. Les principales étapes du processus sont décrites ci-après.

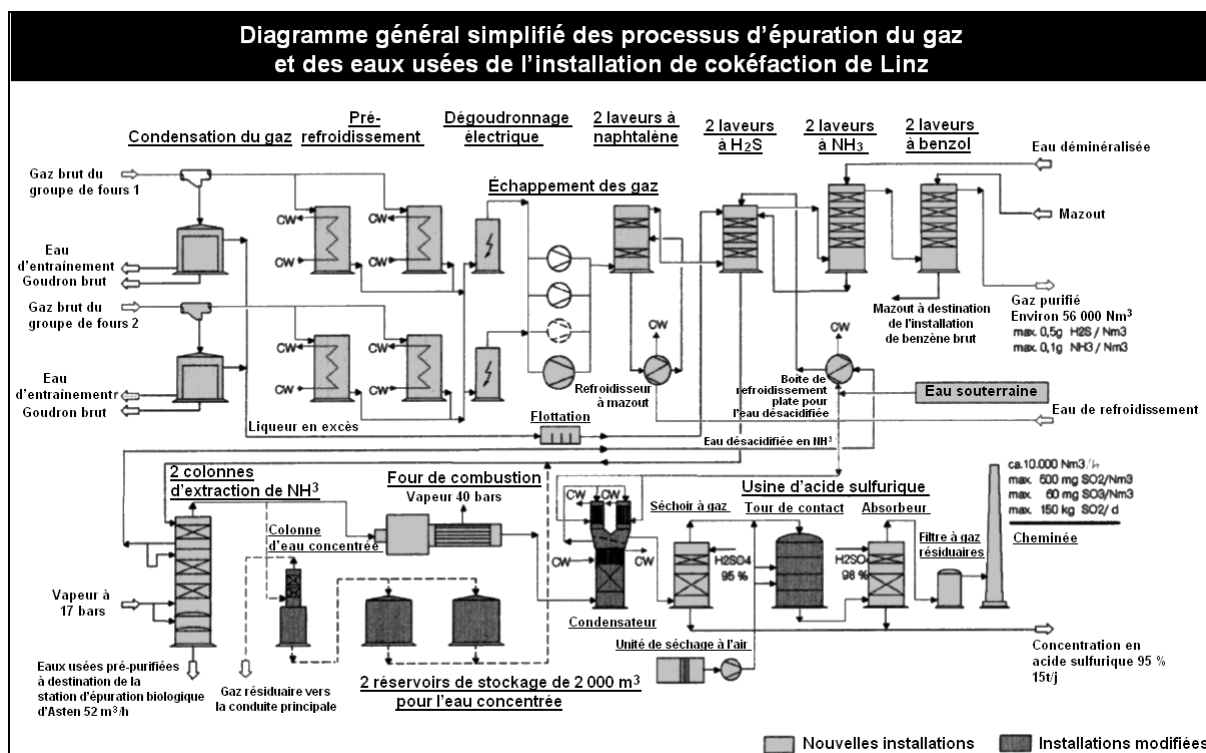


Figure 6.8 : Schéma classique d'une installation de traitement du gaz de cokerie, avec récupération des sous-produits

[UK Coke, 1995]

6.1.3.1 Refroidissement du gaz

Le gaz de cokerie brut chaud pénètre dans les conduites ascensionnelles à une température approchant les 800°C. Dans le porte-vent, il est directement refroidi par une pulvérisation de liqueur ammoniacale jusqu'à une température de saturation de vapeur de 80°C environ. Ceci nécessite 2 à 4 m³ de liqueur ammoniacale par tonne de charbon carbonisé.

La phase liquide, c'est-à-dire le condensat, alimente le séparateur goudron-eau, tandis que la phase gazeuse est acheminée vers les refroidisseurs primaires. Auparavant, les refroidisseurs primaires fonctionnaient habituellement comme des dispositifs ouverts. Aujourd'hui, il est plus fréquent d'avoir affaire à un refroidissement indirect avec des systèmes fermés. Lorsqu'il y a suffisamment d'eau de refroidissement à la bonne température, il est possible de ramener la température du gaz au dessous de 20°C, avec une température ambiante modérée. Dans ces conditions, la plupart des composés dont le point d'ébullition est plus élevé, ainsi que l'eau provenant de la fraction du gaz sous forme de vapeur, se condensent.

Les gouttelettes et les particules sont précipitées dans les dégoudronneurs électrostatiques en aval, avant que le gaz ne soit aspiré dans le dispositif de nettoyage par des extracteurs (ventilateurs d'aspiration). Parfois, les dégoudronneurs électrostatiques sont installés en aval des extracteurs. Le précipité qui en sort est lui aussi acheminé vers le séparateur goudron-eau.

Les ventilateurs d'aspiration entraînent une compression du gaz, et même si les ventilateurs sont tels que ce phénomène n'est que léger, l'augmentation de température qui l'accompagne est inacceptable étant donné les conditions de transformation en aval. Ceci rend indispensable le recours à ce que l'on appelle des refroidisseurs finaux.

Les refroidisseurs finaux peuvent être directs ou indirects, auquel cas l'eau de refroidissement est utilisée pour absorber les impuretés du gaz de cokerie. Il en résulte qu'à la fin du cycle de refroidissement, pendant le refroidissement par débit de retour qui utilise des courants d'air naturels ou des ventilateurs de refroidissement, des émissions sont inévitablement libérées. C'est la raison pour laquelle on préfère généralement les dispositifs fermés pour le refroidissement final, bien que certaines installations utilisent encore des cycles ouverts.

6.1.3.2 Récupération du goudron du gaz de cokerie

La plus grande partie de l'eau et des hydrocarbures dont le point d'ébullition est élevé sont condensés lors du refroidissement du gaz de cokerie. Le condensat qui provient des conduites et du dégoudronneur électrostatique est dirigé vers le séparateur goudron-eau, où le goudron est récupéré. La phase aqueuse est séparée et donne « l'eau de charbon », elle passe ensuite à travers la colonne d'extraction/de strippage avant tout traitement supplémentaire.

Parfois, des racloirs sont installés pour enlever le goudron du condensat. Ces morceaux sont généralement renvoyés dans l'alimentation en charbon.

6.1.3.3 Désulfuration du gaz de cokerie

Le gaz de cokerie contient du sulfure d'hydrogène (H_2S) et divers autres composés organo-sulfurés (disulfure de carbone, CS_2 , oxysulfure de carbone, COS , mercaptans etc.). Les techniques de désulfuration actuellement utilisées sont toutes extrêmement efficaces pour supprimer le H_2S , mais elles sont moins performantes pour enlever les composés organo-sulfurés. Les procédés commerciaux de désulfuration du gaz de cokerie peuvent être divisés en deux catégories :

les procédés qui utilisent l'oxydation par voie humide pour produire du soufre élémentaire S^0 ;

les procédés qui absorbent et strippent le H_2S qui sera par la suite transformé en acide sulfurique (H_2SO_4) ou en soufre élémentaire S^0 .

Les procédés d'oxydation par voie humide utilisent tous un catalyseur de réduction-oxydation pour faciliter l'oxydation humide du sulfure d'hydrogène en soufre élémentaire (S^0) ou en sulfate. Tous ces procédés sont caractérisés par une suppression très efficace du sulfure d'hydrogène (jusqu'à 2 mg/Nm^3) mais ont le désavantage de produire des eaux usées et/ou un air extrêmement contaminé(es), ce qui rend indispensable la présence, dans le processus, d'installations de traitement complexes (UN-ECE, 1990).

Les procédés d'absorption/de strippage sont caractérisés par une suppression généralement moindre de H_2S ($0,5$ à 1 g/Nm^3 après nettoyage) mais, comme l'air n'est pas inclus dans le système de régénération et qu'il n'est fait usage d'aucun catalyseur toxique, les émissions dans l'air et dans l'eau de produits chimiques liés au procédé sont minimisées ou éliminées. Les procédés peuvent servir à produire de l'acide sulfurique (dans les usines d'acide sulfurique) ou un soufre élémentaire d'une grande pureté (atelier Claus de récupération du soufre).

Il est fréquent de combiner une épuration du $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{S}$ dans la phase qui se déroule à basse pression avec une épuration au carbonate de potassium (procédé au carbonate sous vide) dans la phase sous haute pression, associées à un laveur à BTX à basse pression ou à pression élevée. L'épuration au potassium au cours des deux phases de pression, associée à un laveur à BTX, est également usuelle.

6.1.3.4 Récupération de l'ammoniac contenu dans le gaz de cokerie

L'ammoniac qui se forme lors de la cokéfaction apparaît à la fois dans le gaz de cokerie et dans le condensat (liqueur pauvre) tiré du gaz. Habituellement, 20 à 30 % de l'ammoniac se trouve dans la liqueur pauvre.

Sur le plan commercial, trois techniques sont appliquées pour séparer l'ammoniac du gaz de cokerie :

- Circuit d'épuration du $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{S}$. Dans ce procédé, l'ammoniac est enlevé du gaz de cokerie dans un laveur à ammoniac, avec pour liquide de lavage de l'eau ou un bain de lavage dilué. L'effluent issu du laveur à ammoniac sert de liqueur de lavage dans le laveur à H_2S . L'effluent issu de ce dernier contient du H_2S et du NH_3 et il est conduit dans la colonne de strippage et d'extraction. Ce procédé est également connu sous le nom de procédé Carl Still, Diamex ou Ammoniumsulphide Kreislaufwäscher (ASK) ;
- Récupération directe sous forme de sulfate d'ammonium $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$. Deux procédés peuvent être utilisés : l'absorbeur de type Otto et le procédé de faible cristallisation contrôlée différentielle de Wilputte. Dans les deux cas, le gaz de cokerie est pulvérisé avec une solution d'acide sulfurique dilué, ce qui produit du sulfate d'ammonium ;
- Récupération directe d'ammoniac anhydride (NH_3). La récupération d'ammoniac dans le gaz sous la forme d'ammoniac anhydride a été mise au point par la United States Steel Corporation sous le nom de USS PHOSAM. Dans ce procédé, l'ammoniac est séparé du gaz de cokerie par un contact à contre-courant avec une solution de phosphate pauvre en ammoniac (acide phosphorique). L'efficacité de suppression de l'ammoniac est de 98 à 99 % (UN-ECE, 1990).

6.1.3.5 Récupération de l'huile légère contenue dans le gaz de cokerie

Le gaz qui quitte les absorbeurs d'ammoniac contient de l'huile légère, une huile claire jaune-marron qui a une gravité spécifique de 0,88. Il s'agit d'un mélange des produits contenus dans le gaz de cokerie, avec des points d'ébullition principalement compris entre 0 et 200°C, qui contient bien plus d'une centaine d'éléments. La plupart d'entre eux s'y trouvent dans des concentrations si faibles que leur récupération n'est que très rarement praticable. On appelle habituellement cette huile légère BTX ; ses principaux composants utilisables sont le benzène (60 à 80 %), le toluène (6 à 17 %), le xylène (1 à 7 %) et le naphta (0,5 à 3 %). Il existe trois méthodes principales pour récupérer l'huile légère (UN-ECE, 1990) :

- Réfrigération et compression à des températures inférieures à - 70°C et à une pression de 10 bars,
- Absorption par des absorbeurs solides, dans lesquels on enlève l'huile légère du gaz en passant ce dernier à travers un lit de charbon actif et en séparant l'huile légère du charbon en le chauffant à l'aide de vapeur directe ou indirecte.

- Absorption par des solvants, qui consiste à laver le gaz de cokerie à l'aide de mazout de pétrole, de goudron de houille ou d'un autre absorbant, puis à distiller à la vapeur l'absorbant enrichi afin de récupérer l'huile légère.

6.1.4 Flux d'eau dans les fours à coke

Plusieurs flux d'eau sont générés au cours du processus de cokéfaction et de nettoyage du gaz de cokerie. Certains de ces flux sont liés aux opérations de cokéfaction elles-mêmes et d'autres au traitement du gaz de cokerie.

La Figure 6.9 présente un exemple de flux d'eau possibles dans une cokerie. Il existe cependant de nombreuses autres configurations.

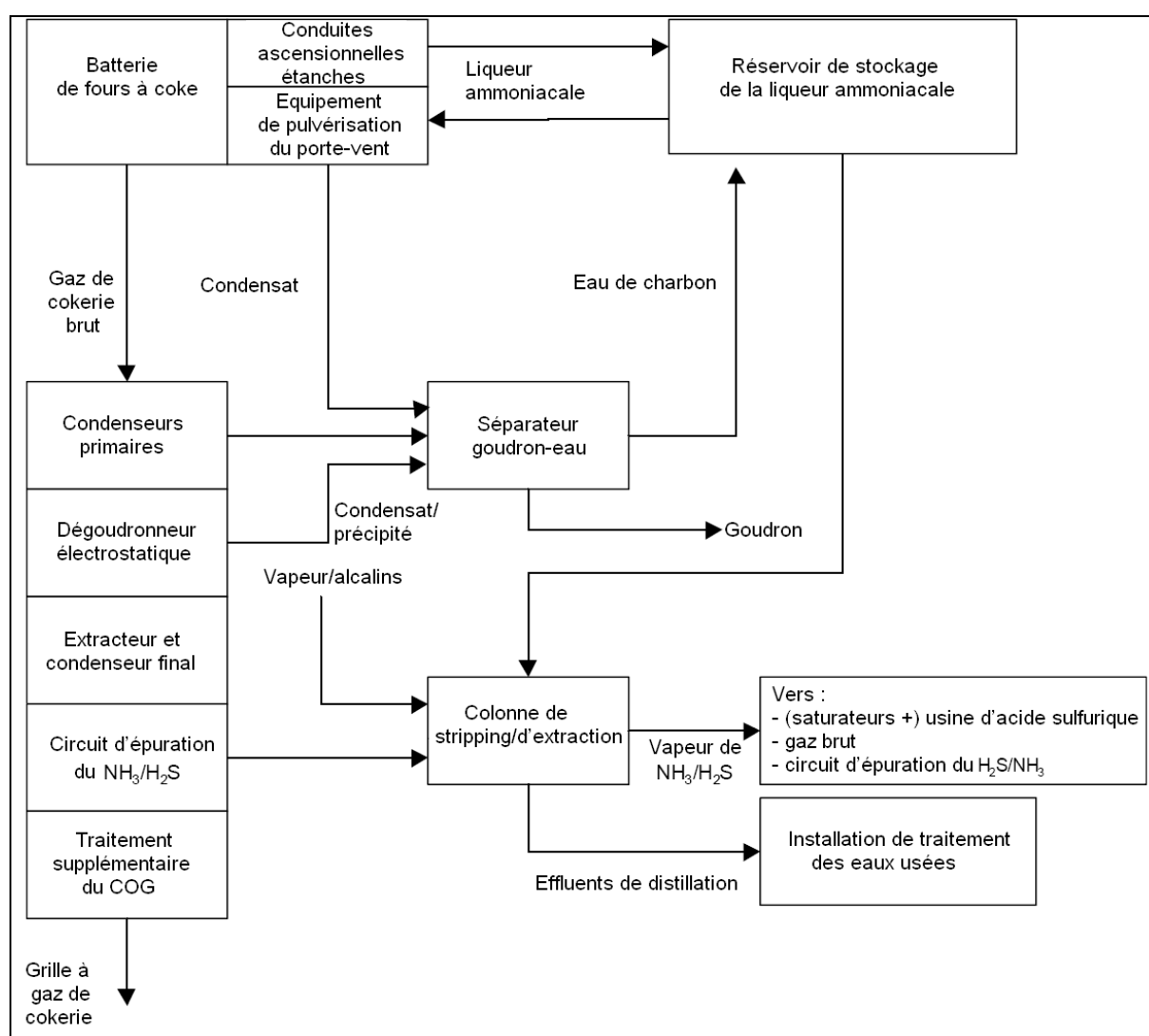


Figure 6.9 : Schéma d'un exemple de flux d'eau dans une cokerie – [InfoMil 1997]

La vapeur d'eau qui se trouve dans le collecteur principal provient de plusieurs sources : humidité du charbon, « eau chimique » (qui se forme au cours du processus de cokéfaction) et vapeur ou liqueur ammoniacale utilisée dans les porte-vents pour l'aspiration des gaz d'enfournement.

Le gaz de cokerie brut est acheminé à travers le refroidisseur primaire et le dégoudronneur électrostatique ; c'est au cours de ces étapes que la vapeur d'eau et le goudron sont en majeure partie condensés. L'eau et le goudron condensés qui proviennent du collecteur principal, des refroidisseurs et du dégoudronneur électrostatique sont dirigés vers le séparateur goudron-eau.

L'eau du séparateur goudron-eau a une concentration en ammoniac élevée et elle est dirigée vers le réservoir de stockage de liqueur ammoniacale.

Le réservoir de stockage de liqueur ammoniacale fournit l'eau nécessaire à l'équipement de pulvérisation du porte-vent. Les couvercles des conduites ascensionnelles sont hermétiquement fermés. L'excès d'eau dans le réservoir de stockage de la liqueur ammoniacale est acheminé vers la colonne de strippage/d'extraction.

Il est à noter qu'en règle générale, tous les flux d'eau, à l'exception de l'eau contenue dans les systèmes de refroidissement fermés et des systèmes de désulfuration oxydative par voie humide, sont en fin de compte évacués de la colonne d'extraction vers une installation d'épuration des eaux usées.

La colonne d'extraction présente de fortes concentrations en NH_3 . Il y a plusieurs raisons pour lesquelles on diminue la concentration en ammoniac avant d'évacuer l'eau vers une installation de traitement des eaux usées ou dans l'environnement :

- L'ammoniac peut être récupéré en tant que source d'énergie utile (dans une usine d'acide sulfurique) ou en tant que sous-produit utile (comme sulfate d'ammonium ou ammoniac anhydride) ;
- L'ammoniac libre est extrêmement toxique pour les écosystèmes aquatiques (y compris dans les installations d'épuration biologique des eaux usées) ;
- L'ammoniac a une demande spécifique en oxygène très élevée (il exige 4,5 fois son propre poids en oxygène pour être oxydé en nitrates). Il existe donc un risque d'appauvrissement en oxygène de l'installation de traitement des eaux usées ou de l'eau qui le reçoit.

Ce sont les raisons pour lesquelles des colonnes de strippage ont été installées dans pratiquement toutes les cokeries. Ce dispositif enlève le H_2S et le NH_3 du liquide à l'aide de vapeur ou d'additifs alcalins. Les vapeurs sont ensuite dirigées vers le circuit d'épuration du gaz brut ou du $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{S}$ (afin d'améliorer l'efficacité du lavage du H_2S) ou vers une usine d'acide sulfurique, où le H_2S et le NH_3 sont incinérés ensemble. Parfois, le NH_3 est enlevé de ces vapeurs dans des saturateurs, ce qui donne du sulfate d'ammonium.

L'alcali le plus communément utilisé est la soude caustique (NaOH). Auparavant, on avait souvent recours à la chaux éteinte (CaOH_2).

Il existe d'autres flux d'eau possibles, qui n'ont pas été représentés dans la figure 6.9 :

1. Les eaux usées de la récupération de BTX sont acheminées vers le séparateur goudron-eau ;

2. Il est possible de récupérer du phénol (de concentration > 3 g/l) à partir de l'eau de charbon à l'aide d'un procédé d'extraction aux solvants, avant que l'eau de charbon ne soit envoyée dans le réservoir de stockage de la liqueur ammoniacale ;
3. Les eaux usées émises par le procédé de désulfuration oxydative sont généralement évacuées séparément après un prétraitement ;
4. L'eau chargée de produits chimiques de l'usine d'acide sulfurique (optionnelle) est généralement dirigée vers la colonne d'extraction ;
5. L'eau chargée de produits chimiques de l'atelier Claus de récupération du soufre (optionnel) n'est généralement pas condensée mais relâchée dans l'atmosphère via une cheminée [EC Coke, 1996]. Une autre option consiste à injecter cette eau dans le gaz brut avant traitement ;
6. Eau de refroidissement. L'eau de refroidissement indirect du gaz est recirculée et n'influence pas le volume d'eaux usées. Dans le cas du refroidissement direct du gaz, l'eau de refroidissement doit être considérée comme une liqueur de lavage qui est, en fin de compte, évacuée via la colonne d'extraction.

6.2 Niveaux de consommation et d'émission actuels

6.2.1 Vue d'ensemble des flux entrants et sortants

La Figure 6.10 présente un aperçu des flux d'entrée et de sortie d'une cokerie. Cet aperçu peut être utilisé lors de la collecte de données dans une cokerie.

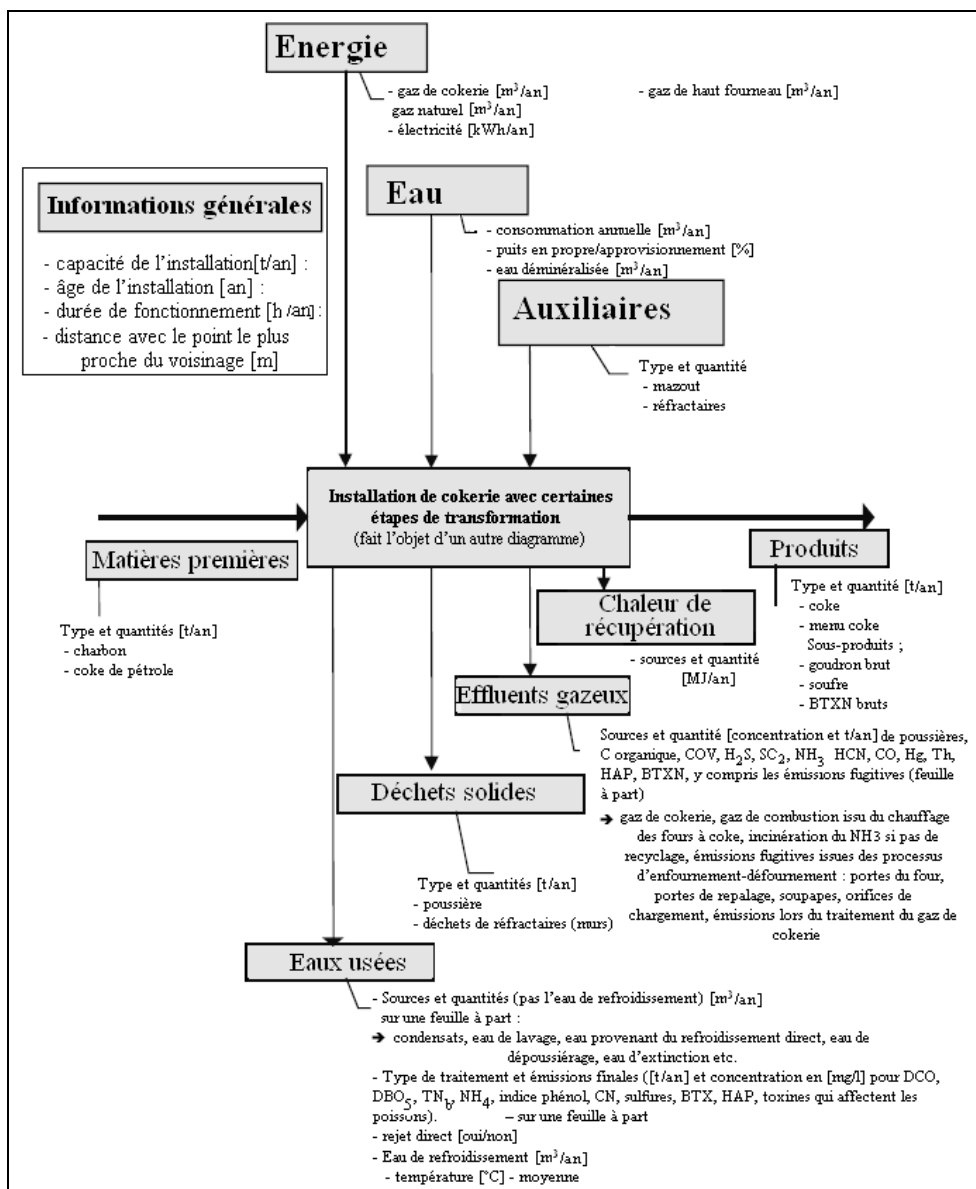


Figure 6.10 : Aperçu des flux d'une cokerie

Par la suite, il est possible de déterminer des facteurs d'entrée ainsi que des facteurs d'émission spécifiques, qui sont présentés dans le Tableau 6.2. Les données proposées correspondent à 11 cokeries situées dans 4 États membres.

Les facteurs d'émission sont rapportés à 1 tonne d'acier brut liquide, afin de faciliter le calcul de la somme des facteurs d'émissions provenant de différentes unités de production.

Entrée			Sortie		
Matières premières			Produits		
Charbon (sec)	kg/t de coke	1250-1350	Coke (sec)	kg/t	1000,0
			Gaz de cokerie ^{*3}	MJ/t ABL	2500-3200
			Vapeur ^{*3}	MJ/t ABL	3-90/500 ^{*4}
Énergie			Émissions gazeuses		
Gaz de haut fourneau + gaz de cokerie	MJ/t de coke	3200-3900	Poussières	g/t ABL ^{*3}	17-75 ^{*1}
Électricité	MJ/t de coke	20-170 ^{*1}	SO _x	g/t ABL	27-950 ^{*5}
			NO _x	g/t ABL	230-600 ^{*1}
			NH ₃	g/t ABL	0,8-3,4
			H ₂ SO ₄	g/t ABL	0,7 ^{*6}
Vapeur	MJ/t de coke	60-300 ^{*2}	HCN	g/t ABL	0,02-0,4
			H ₂ S	g/t ABL	4-20 ^{*1}
			CO	g/t ABL	130-1500 ^{*1}
Air comprimé	Nm ³ /t de coke	7-15	CO ₂	kg/t ABL	175-200
			CH ₄	g/t ABL	27 ^{*7}
			COV ^{*8}	g/t ABL	4-8
Eau de traitement (≠ eau de refroidissement)	m ³ /t de coke	0,8-10	Benzène	g/t ABL	0,3-15 ^{*9}
			HAP ^{*10}	mg/t ABL	170-500 ^{*11}
			Résidus/ sous-produits		
			Benzène	kg/t de coke	8-15
			H ₂ SO ₄ ^{*6}	kg/t de coke	4-9
			Goudron	kg/t de coke	25-46
			(NH ₄) ₂ SO ₄ sous forme de SO ₄ ²⁻ ^{*12}	kg/t de coke	1,7-3,4
			Soufre ^{*13}	kg/t de coke	1,5-2,3
			Eaux usées	m ³ /t de coke	0,3-0,4

Légende : ABL = acier brut liquide ; COV = composé organique volatil ; AHP = hydrocarbures aromatiques polycycliques

^{*1} Valeur élevée dans les installations anciennes (plus de 20 ans)

^{*2} Les installations anciennes (plus de 20 ans) peuvent avoir une consommation de vapeur de 1 200 MJ/t de coke

^{*3} Facteurs de conversion utilisés (moyenne pondérée des tous les hauts fourneaux et aciéries à oxygène européens) : 358 kg de coke/t de fonte brute, 940 kg de fonte brute/t d'ABL

^{*4} Valeurs élevées dans le cas d'extinction du coke à sec (avec récupération de chaleur sous forme de vapeur) ; valeur = 90 MJ/t d'ABL pour deux installations exploitées depuis 14 et 15 ans, respectivement ; valeur = 500 MJ/t d'ABL pour une installation exploitée depuis 7 ans environ (voir Pl.7)

^{*5} Valeur élevée en cas de gaz de cokerie non-désulfuré, les émissions spécifiques de SO₂ sont comprises entre 27 et 300 g/t d'ABL en cas de désulfuration (la valeur la plus élevée de cette fourchette indique une désulfuration insuffisante)

^{*6} En cas d'absorption de SO₂ en H₂SO₄ comme sous-produit final

^{*7} Données disponibles en provenance d'une seule installation

^{*8} COV sans méthane

^{*9} Valeur peu élevée pour une installation moderne (âgée de 5 ans environ)

^{*10} HAP : 16 EPA (somme des 16 HAP suivants : (Σ (FLU+PYR+TRI+CPP+BaA+CHR+BNT+BeP+BbF+BkF+BaP+DbahA+BghiP+INP+ANT+COR))

^{*11} Données disponibles en provenance de deux installations seulement

*¹² En cas d'absorption du SO₂ avec liqueur ammoniacale

*¹³ En cas d'absorption du SO₂ et de récupération du soufre sous forme de soufre élémentaire

Tableau 6.2 : Données d'entrée et de sortie provenant de onze cokeries situées dans 4 États membres de l'UE

Des informations détaillées sur les autres installations sont indisponibles ; ces données datent de 1996.

Les données relatives aux émissions représentent les émissions après réduction, elles n'intègrent pas les émissions provenant de la manutention du charbon et du coke à cause du manque d'informations, mais ces émissions ont une importance moindre.

Les informations relatives à la détermination de ces données, telles que les méthodes d'échantillonnage, d'analyse, les intervalles de temps, les procédés de calcul et les conditions de référence ne sont pas disponibles.

Le tableau 6.3 complète les informations données dans le Tableau 6.2 avec les facteurs d'émission dans l'air (après réduction) pour chacune des principales opérations de la cokerie.

Opération		Particules [g/t d'ABL]	CH ₄ [g/t d'ABL]	HC ali. [gC/t d'ABL]	Benzène [mg/t d'ABL]	BaP [mg/t d'ABL]	HAP ^{*2} [mg/t d'ABL]	CO [g/t d'ABL]	SO ₂ [g/t d'ABL]	H ₂ S [g/t d'ABL]	NH ₃ [g/t d'ABL]	NO _x [g/t d'ABL]
Enfournement	« installations anciennes » ^{*3}	1-1,5	17		34	3,5		7-13				
	[Eisenhut, 1990]				34-570	0,5-5 ^{*5}	5-74 ^{*5}					
	[EC Coke, 1993]	0,1-3,5	0,02-25	0,003-10	2-400	0,007-1,5		0,02-24	0,003-3		<0,1	
	Kaiserstuhl '96 ^{*4}	0,3			3	0,01		0,3				
Carbonisation												
Portes	« installations anciennes » ^{*3}	4			335	19						
	[Eisenhut, 1990]				2700-4700 ^{*6} 70-100 ^{*7}	19 ^{*6} 0,1-5 ^{*7}	3-1250 ^{*5}					
	[EC Coke, 1993]	0,1-2	1,5-25	0,3-7	70-4700	1,5-15		0,5-10	0,05-0,5	0,006-0,3	0,03-0,5	0,01-0,15
	Kaiserstuhl '96 ^{*4}	0,3			30	0,3						
Couvercles	« installations anciennes » ^{*3}				270	3						
	[Eisenhut, 1990]				270-9000 ^{*8}	1-90 ^{*5}	40-1100 ^{*5}					
	[EC Coke, 1993]	0,06-0,3	1,5-8,5	0,5-3	270-2700	3-5		0,5-3	0,05-0,3	0,003	0,03-0,1	0,01-0,05
	Kaiserstuhl '96 ^{*4}				0,03	0,05						
Conduites ascensionnelles	« installations anciennes » ^{*3}											
	[Eisenhut, 1990]				3-600 ^{*9}	0,1-11 ^{*9}						
	[EC Coke, 1993]	<0,07	0,1-1	0,03-0,3	3-33	0,1-1		0,001-0,1	0,003-0,03	<0,003	<0,003	
	Kaiserstuhl '96 ^{*4}							2	5			
Défournement	« installations anciennes » ^{*3}	135-200 ^{*10}				17						
	[Eisenhut, 1990]	<2 ^{*11}			170 ^{*12} 7-25 ^{*13}	0,001-17 ^{*14}						
	[EC Coke, 1993]	>70	0,3-2					2-12	2-8			
	Kaiserstuhl '96 ^{*4}	0,3				<0,001						
-Extinction	« installations anciennes » ^{*3}	20-40						30-50		22	1,5	
	[Eisenhut, 1990]				15-1000 ^{*15}	0,003-3 ^{*5}	0,2-33					
	[EC Coke, 1993]	Jusqu'à 45						100-470		17-27	1-3	
	Kaiserstuhl '96 ^{*4}	5										
Tamassage/criblage		2 ^{*16}										
Installation de sous- produits					30-8000 ^{*17}	0,02-0,03	0,5-1,5					

Cuisson ^{*18}									27-100 ^{*19} 100-500 ^{*20} jusqu'à 1 250 ^{*21}			80-600
------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------

Légende : ABL = acier brut liquide ; HC ali. = hydrocarbures aliphatiques ; BaP = benzo(a)pyrène ; HAP = hydrocarbures aromatiques polycycliques

^{*1} Facteurs de conversion utilisés (moyenne pondérée des tous les hauts fourneaux et aciéries à oxygène européens) : 358 kg de coke/t de fonte brute, 940 kg de fonte brute/t d'ABL

^{*2} HAP : 16 EPA (somme des 16 HAP suivants : (Σ (FLU+PYR+TRI+CPP+BaA+CHR+BNT+BeP+BbF+BkF+BaP+DbahaA+BghiP+INP+ANT+COR))

^{*3} Données de [Hein et coll., 1996] provenant d'installations anciennes, qui ont été remplacées par l'installation moderne « Kaiserstuhl », Dortmund, Allemagne (voir ^{*4})

^{*4} Données de [Hein et coll., 1996]

^{*5} Les valeurs plus élevées correspondent aux installations anciennes en mauvais état, les valeurs plus basses aux nouvelles installations en bon état

^{*6} Étanchéisation rigide au marteau

^{*7} Étanchéisation flexible des portes (membranes, par ex.)

^{*8} Valeurs élevées si les couvercles ne sont pas scellés avec soin et/ou de manière appropriée

^{*9} Valeurs élevées pour l'étanchéisation métal-métal, valeurs peu élevées pour l'étanchéisation hydraulique

^{*10} Chiffre pour des émissions non réduites

^{*11} Selon l'Allemand [TA Luft, 1986] 5 g/t de coke ou 1,7 g /t d'ABL doivent être atteints

^{*12} Avec un chariot côté coke

^{*13} Avec un chariot de hotte

^{*14} La valeur basse est atteinte avec un filtre à manche, la valeur élevée sans opération de dépoussiérage

^{*15} En cas de cokéfaction incomplète

^{*16} Données de [US PM-10, 1994]

^{*17} La valeur élevée correspond aux installations sans système de conduites d'équilibrage des gaz

^{*18} Données provenant de 10 cokeries à partir de 1997

^{*19} En cas d'utilisation de gaz de cokerie désulfuré (dans de nombreux cas mélangé à du gaz de haut fourneau)

^{*20} En cas d'utilisation de gaz de cokerie désulfuré mais les murs de la chambre ne sont pas étanches, ce qui entraîne des émissions plus élevées

^{*21} En cas d'utilisation de gaz de cokerie non-désulfuré (dans de nombreux cas mélangé à du gaz de haut fourneau)

Tableau 6.3 : Facteurs d'émissions dans l'air des cokeries ^{*1}

6.2.2 Informations sur les émissions dans l'air

Les cokeries présentent un nombre relativement important de sources d'émission (voir la description en 6.1). Les émissions provenant de plusieurs de ces sources varient considérablement avec le temps (par exemple : émissions semi-continues à travers les portes, les couvercles, les conduites ascensionnelles et émissions discontinues lors du défournement et de l'extinction). Ces émissions sont en outre difficiles à quantifier. La comparaison des facteurs d'émission entre les installations doit également prendre en compte les paramètres spécifiques à l'installation. Par exemple, les émissions à travers les portes varient fortement selon le type de portes, la taille des fours et la qualité de l'entretien. La maintenance peut être un facteur déterminant. Il est en effet tout à fait possible d'obtenir de bons résultats avec des portes classiques (en lame de couteau) qui ferment des fours de petite taille bien entretenus et de mauvais résultats avec des portes étanches flexibles modernes montées sur de grands fours mal entretenus. Il faut garder ces éléments à l'esprit lorsque l'on évalue les données relatives aux sources individuelles d'émissions dans l'air qui figurent dans les Tableaux 6.2 et 6.3. Les larges fourchettes de valeurs des facteurs d'émission sont principalement explicables par le programme de maintenance, le degré de soin apporté à sa réalisation (qui favorise des conditions d'exploitation uniformes et stables) ainsi que par les techniques de réduction de la pollution appliquées.

6.2.3 Informations sur les émissions dans l'eau

Le lecteur trouvera plus d'informations sur les émissions dans l'eau et sur la consommation en énergie ci-dessous.

6.2.3.1 Émissions continues dans l'eau

6.2.3.1.1 Quantités

Le traitement en aval du gaz de cokerie fait appel à une grande variété de procédés et de variantes. La quantité d'eaux usées émises par les installations de traitement des gaz dépend de la consommation en eau, par exemple la vapeur, l'ajout d'eau douce aux liquides de lavage, l'eau de dilution etc. De manière très approximative, on estime que la quantité d'eaux usées est comprise entre 1,5 et 3 fois la quantité d'eau qui résulte du processus de cokéfaction.

Une partie importante de l'eau qui doit être évacuée du processus de cokéfaction est constituée par l'humidité du charbon qui provient du four à coke. La teneur moyenne en eau du charbon est comprise entre 8 et 11 %, soit 0,08 à 0,11 m³/t de charbon. Par conséquent, une production représentative de 780 kg de coke/t de charbon génère un flux d'eau d'environ 0,1 à 0,13 m³/t de coke.

La décomposition thermique du coke dégage un flux d'eau supplémentaire. Selon le rang du charbon, 3 à 5 % (en poids) de l'eau que l'on qualifie de « chimique » est produite, ce qui représente 0,03 à 0,05 m³/t de charbon et correspond à 0,04 à 0,06 m³/t de coke.

Si l'on a recours à l'injection de vapeur pour l'aspiration (des gaz d'enfournement), la condensation de cette vapeur entraînera une plus grande production d'eau dans les refroidisseurs primaires. Le condensat fera alors également partie de l'eau produite par la cokerie.

L'eau quitte la cokerie par l'intermédiaire des conduites ascensionnelles, puis elle est condensée avec le goudron qui provient du gaz de cokerie brut. Ce mélange est dirigé vers le séparateur goudron-eau, dans lequel l'eau que l'on appelle « l'eau de charbon » est extraite [EC Coke, 1996]. Cette eau est ensuite acheminée vers le réservoir de stockage de la liqueur ammoniacale puis vers la colonne de strippage/d'extraction pour en extraire l'ammoniac.

6.2.3.1.2 Eaux usées en provenance de la cokerie

Une fois l'ammoniac enlevé par distillation (voir les « effluents de distillation » dans la Figure 6.9), les eaux usées contiennent divers composés organiques (comme des phénols) et inorganiques (comme de l'ammoniac résiduaire et du cyanure). S'ils sont déversés directement, ces composés ont un impact néfaste sur l'eau qui les reçoit. Les effluents de distillation sont donc généralement traités dans une installation d'épuration des eaux usées avant d'être rejetés dans l'environnement.

Les données relatives à la composition des eaux usées avant traitement montrent que celle-ci varie considérablement d'une installation à l'autre, que ce soit en termes de concentration ou de charge par tonne de coke produite. Ces importantes variations sont causées principalement par les dispositifs de traitement des gaz, le type de procédé de cokéfaction (enfournement par le haut ou par pilonnage), ainsi que par le type de charbon utilisé dans chaque cokerie. Le Tableau 6.4 présente les facteurs d'influence pour les principaux paramètres de conception d'une installation d'épuration biologique.

Paramètre	Concentration [mg/l]		Facteur d'émission [g/t de coke]
	Valeur moyenne	Ecart type	
Demande chimique en oxygène (DCO)	2 250 – 4 450	310 – 590	430 – 1 700
Ammoniac ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$)	25 – 85	15 – 105	5 – 30

Tableau 6.4 : Facteurs d'influence des eaux usées de quatre cokeries en Belgique, Allemagne, France et aux Pays-Bas – [Löhr, 1996]

Les données ci-dessus représentent les fourchettes de valeurs moyennes et d'écart types pour les eaux usées après strippage de l'ammoniac mais avant dilution et traitement (le cas échéant).

La DCO est un paramètre qui regroupe une grande variété de composés organiques chimiques différents tels que les phénols (1 000 à 2 000 mg/l), les composés azotés organiques (Kjeldhal-N : 250 à 500 mg/l) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP, jusqu'à 30 mg/l) [InfoMil, 1997]. Il y a également, outre l'ammoniac, d'autres éléments contenant de l'azote inorganique, comme des thiocyanures (150 à 350 mg/l) [InfoMil, 1997].

6.2.3.1.3 Eaux usées issues des procédés de désulfuration par oxydation humide

Les eaux usées générées par les procédés de désulfuration par oxydation humide sont généralement traitées séparément à cause de la présence de composés qui ont un effet néfaste sur les installations d'épuration biologique des eaux usées.

Le Tableau 6.5 présente la composition des eaux usées produites au cours de deux processus de désulfuration par oxydation humide. L'application de l'une des autres techniques par oxydation humide peut entraîner des émissions dans l'eau de composés d'arsenic (procédé Thylox), d'acide naphthoquinone 1,4 sulfonique 4 (Takahax), d'acide picrique et de thiocyanures (procédé Fumaks/rhodacs).

Composé	Désulfuration Stretford (g/l)	Désulfuration Perox (g/l)
NH ₃ (libre)	0,1	7,5 – 24
NH ₃ (fixe)	?	48 – 61
Na ₂ CO ₃	5,7 – 65	-
CO ₂	?	13 – 34
SCN ⁻	80 – 300	61 – 73
Cl ⁻	?	1,5
H ₂ S	?	0,04 – 0,2
S ₂ O ₃ ²⁻	50	35 – 127
SO ₄ ²⁻	12,2	7 – 23
Vanadate (VO ₃ ⁻)	1,2	-
Tartrate (V ₄ O ₉ ²⁻)	1	-
Disulfonate d'antraquinone (ADS)	1,9	-
Hydroquinone	-	0,3 – 0,6
pH	?	8,7

Tableau 6.5 : Composition des eaux usées rejetées lors de deux processus de désulfuration par oxydation humide [EC Coke, 1996]

6.2.3.1.4 Eau de refroidissement

Normalement, la plus grande partie de cette eau sert au refroidissement indirect lors du traitement du gaz de cokerie. Cette eau de refroidissement est généralement recirculée dans le circuit. La consommation d'eau douce pour remplacer l'évaporation et les pertes par drainage est de l'ordre de 6 à 10 m³/h (soit 0,06 m³/t de coke).

Le refroidissement direct du gaz de cokerie utilise normalement de la liqueur ammoniacale en circuit fermé. Le débit du circuit est d'environ 6 m³/t de coke.

6.2.3.2 Émissions discontinues dans l'eau

6.2.3.2.1 Extinction du coke par voie humide

L'extinction du coke par voie humide peut, dans certains cas, être à l'origine d'émissions discontinues dans l'eau. Toutefois, lorsque cette opération est correctement pratiquée, l'excès d'eau est collecté puis utilisé pour le lot suivant. L'utilisation de cet excès d'eau est également possible dans d'autres processus, ce qui permet d'éliminer les émissions dans l'eau.

6.2.4 Consommation d'énergie

Le Tableau 6.6 contient des informations sur la consommation d'énergie d'une cokerie sans tenir compte du traitement du gaz de cokerie. Les données du Tableau 6.2 confirment ces valeurs. Le Tableau 6.6 donne également les chiffres de production d'énergie, montrant ainsi les pertes d'énergie considérables (environ 3 GJ/t de coke). Le gaz de cokerie produit par les cokeries montre qu'elles jouent un rôle important dans l'approvisionnement et la gestion énergétiques dans les aciéries intégrées (voir les Figures 3.3 et 3.4).

Consommation d'énergie		Production d'énergie	
Porteur d'énergie	GJ/t de coke	Porteur d'énergie	GJ/t de coke
Charbon	40,19	Coke	27,05
Cuisson des fours	3,01	Gaz de cokerie	8,08
Réactions chimiques	0,32	Perte d'énergie	3,33
		Autres produits (S0, goudron etc.)	2,56
		Déchets de criblage du coke	1,92
		Poussières de coke	0,26
Total	43,52	Total	43,20

Tableau 6.6 : Équilibre énergétique d'une cokerie (hors traitement du gaz de cokerie) – basé sur [UN-ECE, 1990] ; la production de coke supposée est de 780 kg de coke/t de charbon

6.2.5 Pollution du sol

Dans l'installation de traitement du gaz de cokerie, on récupère du goudron et d'autres composés organiques (comme le BTX) du gaz de cokerie. Le déversement ou la fuite de ces composés peut entraîner un risque de pollution du sol, qui dépend de l'état des sols locaux. Par ailleurs, le déversement ou la fuite d'eau de charbon risque également de polluer le sol.

Dans le présent document, la pollution du sol est traitée comme un aspect local. C'est pourquoi seule une brève description des mesures possibles sera donnée ici :

- le nombre de brides et d'accessoires doit être minimisé ;
- les tuyaux et les brides doivent être accessibles pour une inspection, autant que possible (par exemple, ils doivent être placés au dessus du sol ou dans des canalisations extérieures), à moins que l'âge et la conception de l'installation ne rende ceci impossible ;
- le stockage et le transport des substances présentant un risque de pollution du sol doivent être entourés de précautions afin d'éviter tout déversement sur le sol.

6.3 Techniques à prendre en compte lors de la détermination des MTD

Cette section décrit les techniques de protection de l'environnement et d'économies d'énergie intégrées au processus et appliquées en fin de process dans les cokeries. Pour chaque technique, on trouvera une description, les principaux niveaux d'émissions atteints, l'applicabilité, la surveillance des émissions, les effets croisés, les installations de référence, les données d'exploitation, des informations économiques ainsi que le moteur pour la mise en œuvre de ces techniques (lorsque ces données sont disponibles et présentent un intérêt)

Mesures intégrées au processus

Les techniques intégrées au processus ci-dessous sont actuellement utilisées dans les cokeries :

- PI.1 Exploitation régulière et sans perturbation de la cokerie
- PI.2 Maintenance des fours à coke
- PI.3 Amélioration de l'étanchéité des portes et des châssis des portes du four
- PI.4 Nettoyage des joints des portes et des châssis des portes du four
- PI.5 Maintien d'un espace de libre circulation pour le flux de gaz dans le four à coke
- PI.6 Réduction des émissions pendant la phase de cuisson
- PI.7 Extinction du coke à sec
- PI.8 Agrandissement des chambres du four
- PI.9 Cokéfaction sans récupération

Techniques appliquées en fin de process

Les techniques de fin de process ci-dessous sont actuellement utilisées dans les cokeries :

- EP.1 Minimisation des émissions d'enfournement
- EP.2 Étanchéisation des colonnes montantes et des bouches d'enfournement
- EP.3 Minimisation des fuites entre la chambre du four à coke et le piédroit
- EP.4 Dépoussiérage de l'opération de défournement
- EP.5 Minimisation des émissions lors de l'extinction par voie humide
- EP.6 Suppression du NO_x dans le gaz de combustion issu de la cuisson
- EP.7 Désulfuration du gaz de cokerie
- EP.8 Dégoudronnage (et suppression des HAP) de l'eau de charbon

EP.9 Colonne de stripping

EP.10 Étanchéisation de l'installation de traitement du gaz

EP.11 Installation d'épuration des eaux usées

PI.1 *Exploitation régulière et sans perturbation de la cokerie*

Description : L'une des mesures intégrées au processus les plus importantes – avec le programme de maintenance (voir PI.2) et les opérations de nettoyage (voir PI.4) – est l'exploitation régulière et sans perturbation du four à coke. Dans le cas contraire, on s'expose à de fortes variations de température et un risque accru de bourrage du coke au moment du défournement, qui ont un effet néfaste sur le réfractaire et sur le four à coke lui-même et qui peuvent accroître le risque de fuites et de situations d'exploitation anormales.

Pour que l'exploitation de la cokerie soit régulière et sans perturbation, il est avant tout nécessaire que les équipements du four soient fiables. La productivité en sera également augmentée.

Il faut également que le prétraitement du charbon soit optimisé : l'exploitation optimale d'une cokerie exige que la charge de charbon soit aussi homogène que possible. Une installation moderne de prétraitement du charbon consiste en deux trémies de mélange, une installation de concassage/criblage, des équipements de transport, de dépoussiérage et, éventuellement, d'autres processus tels qu'un séchage du charbon ou l'ajout d'additifs. Ce n'est que si l'on applique ce processus que l'on garantira un bon fonctionnement des cokeries comme cela a été décrit dans ce chapitre.

En contrôlant la température de la surface de chauffage (instrument de mesure situé au niveau du bras de défournement), il est possible de déterminer la répartition des températures dans la chambre, ce qui permet de tirer des conclusions sur l'efficacité du système de chauffage.

A partir de ces résultats, il est possible d'identifier des actions de réparation ou d'optimisation de ce système.

Applicabilité : Cette mesure peut s'appliquer à la fois aux installations existantes et aux nouvelles.

Principaux niveaux d'émissions atteints : Une grande partie des émissions de la cokerie provient des fuites qui passent à travers des fissures situées entre le piédroit et la chambre du four et qui résultent de la déformation des portes, des encadrements de porte, des armatures etc. Il est possible d'éviter ces émissions dans une large mesure en exploitant la cokerie de manière plus régulière et sans perturbation. Cette mesure peut en outre accroître de manière significative la durée de vie de la cokerie.

Installations de référence : Tous les exploitants du monde sont formés pour faire fonctionner leur cokerie d'une manière aussi régulière que possible. Toutefois, le recours à des mesures d'incitation économiques peut encourager une augmentation de la production et, de fait, accroître le risque que l'exploitation de l'installation soit moins stable.

Effets croisés : Pas d'effets croisés significatifs connus.

Données opérationnelles : Non disponibles.

Aspects économiques : Non disponibles.

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

PI.2 Maintenance des fours à coke

Description : La maintenance des fours à coke est l'une des plus importantes mesures intégrées au processus et elle constitue un facteur décisif pour une exploitation régulière et sans perturbation (voir PI.1).

La maintenance ne doit pas être effectuée par à coups mais de manière continue. Aucune période de maintenance fixe ou minimale ne peut être fixée. Elle doit suivre un programme systématique et être effectuée par un personnel de maintenance spécialement formé (par exemple sur deux équipes). On peut ainsi suivre l'exemple ci-dessous du programme de maintenance de la cokerie de Sidmar située à Gent (Belgique). Chaque four y subit une révision complète tous les 3 à 3,5 ans. Ceci implique de laisser le four vide pendant une semaine afin de procéder aux opérations suivantes :

- suppression de tous les dépôts se trouvant dans la chambre (sur les murs ou le plafond),
- soudage oxythermique des fissures, des trous et des dommages sur la surface des briques réfractaires,
- réparations sur le sol de la chambre du four en le recouvrant de ciment,
- injection de poussières en suspension dans les fissures minces,
- révision de la surface d'étanchéité des encadrements de porte par fraisage et réajustage des encadrements dans le four,
- révision complète des portes, démantèlement complet de chaque élément, nettoyage et réassemblage, réajustage des joints flexibles. Les briques de porte endommagées sont remplacées. Dans de nombreux cas, la maçonnerie de la porte est intégralement refaite.

En plus de ces révisions tous les trois ans, le système d'entretoisement des fours (ressorts, ancrage etc.) est régulièrement vérifié et ajusté.

Applicabilité : Applicable aussi bien aux installations existantes qu'aux nouvelles.

Principaux niveaux d'émissions atteints : Une bonne maintenance permet d'éviter la formation de fissures dans les briques réfractaires, de minimiser les fuites et, par conséquent, les émissions de gaz de cokerie. Grâce à cette mesure, on peut éviter l'apparition de fumée noire à la sortie des cheminées qui évacuent les gaz de combustion provenant de la cuisson. Par ailleurs, la maintenance, le réajustage et la révision des portes et des encadrements empêchent les fuites.

Installations de référence : Cokerie de Sidmar à Gent, Belgique ; cokerie 2 de Hoogovens IJmuiden à IJmuiden, Pays-Bas.

Effets croisés : Pas d'effets croisés connus.

Données opérationnelles : Le programme de maintenance décrit ici est appliqué à la cokerie de Sidmar, à Gent (Belgique) depuis 1986, avec grand succès.

Aspects économiques : Le coût du personnel expérimenté qui applique le programme de maintenance est considérable (environ 1,5 écu₁₉₉₉/t de coke dans le cas de Sidmar, Gent (Belgique)). Toutefois, dans le cadre des mesures permettant une exploitation régulière et sans perturbation de la cokerie, des opérateurs plus qualifiés contribuent à accroître la productivité, ce qui compense les coûts.

Moteurs de la mise en œuvre : L'intention d'exploiter la cokerie de manière aussi régulière que possible avec une productivité optimisée et des émissions minimisées.

Documents de référence : Non disponible.

PI.3 Amélioration de l'étanchéité des portes et des châssis des portes du four

Description : L'étanchéité des portes du four est essentielle et peut être obtenue en appliquant les mesures suivantes :

1. utilisation de portes à joints flexibles munies de ressorts,
2. nettoyage minutieux de la porte et de son encadrement lors de chaque manutention (voir PI.4)

Les batteries existantes peuvent être équipées de nouvelles portes étanches à ressorts si les encadrements et les blindages ne sont pas trop déformés. A cet égard, la résistance des armatures joue un rôle important, parce que les plaques de blindage (qui maintiennent la maçonnerie en place) sont de préférence maintenues en place par des ressorts, eux-mêmes montés sur les armatures.

Il est à noter que la situation diffère selon que l'on a affaire à un petit ou à un grand four. Dans le cas des fours de moins de 5 m de haut, l'association de portes en lame de couteau et d'une bonne maintenance peut suffire à éviter les émissions à travers les portes.

Applicabilité : Applicable aux nouvelles installations et, dans certains cas, aux installations existantes.

Principaux niveaux d'émissions atteints : Les valeurs d'émissions spécifiques à travers les portes à joints flexibles sont nettement inférieures à celles des portes traditionnelles. Sous réserve qu'elles restent propres, les portes « nouvelle génération » permettent de maintenir les émissions visibles inférieures à 5 % de l'ensemble des portes de fours à coke par batterie, côté enfournement comme côté défournement. Il existe toutefois des exemples de bons résultats avec des portes traditionnelles (en lame de couteau) sur des fours de petite taille bien entretenus et des exemples de mauvais résultats avec des portes à joints flexibles sur des fours de grande taille mal entretenus. Néanmoins, les joints flexibles sont une option bien plus hermétique, en particulier pour les fours de grande taille. Le Tableau 6.3 indique les améliorations possibles en matière de réduction des émissions.

Installations de référence : De nombreuses installations nouvelles et reconstruites utilisent des portes à joints flexibles et à ressorts.

Four à coke 1, Hoogovens IJmuiden, IJmuiden, Pays-Bas

Four à coke Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH, Huckingen, Allemagne.

Effets croisés : Pas d'effets croisés.

Données opérationnelles : Non disponibles.

Aspects économiques : Non disponibles.

Documents de référence : [Vos, 1995]

PI.4 Nettoyage des joints des portes et des châssis des portes du four

Description : De nombreuses cokeries européennes plus anciennes sont encore équipées de leurs portes en lame de couteau sans ressorts d'origine. Dans ces installations, les fuites à travers les portes peuvent poser de sérieux problèmes. Toutefois, grâce à une bonne maintenance (voir PI.1 et PI.2), les émissions visibles à travers les portes existantes peuvent être inférieures à 10 % [Vos, 1995]. La réussite du programme de maintenance dépend dans une large mesure de la stabilité du procédé de cuisson, d'une présence permanente du personnel de maintenance et de la continuité de la surveillance et de la remontée d'informations au sujet des réalisations. Il est fortement recommandé de disposer d'un atelier de maintenance intérieur réservé aux portes.

Pour nettoyer les portes des fours à coke, on utilise des jets d'eau à haute pression. Cette méthode s'est avérée très efficace. Cependant, le nettoyage des portes du four à coke à l'aide de jets d'eau à haute pression ne peut pas être utilisé lors de chaque cycle. On obtient également de bons résultats avec les dispositifs modernes de nettoyage des portes équipés de racloirs, utilisés à chaque cycle.

Applicabilité : Cette mesure est applicable aux installations existantes aussi bien qu'aux nouvelles.

Principaux niveaux d'émissions atteints : Le système de nettoyage au jet d'eau à haute pression permet presque d'éliminer les émissions visibles – une réduction à 95 % du temps peut être atteinte (selon la méthode de l'EPA).

Installations de référence :

Four à coke 2, Hoogovens IJmuiden, IJmuiden, Pays-Bas

Cokerie n°1 de Redcar, usine de Teeside de British Steel, Royaume Uni

Effets croisés : Le nettoyage au jet d'eau à haute pression entraîne un flux d'eaux usées contaminées, qui peuvent être traitées avec les eaux usées en provenance des batteries de fours à coke.

Données opérationnelles : Non disponibles.

Aspects économiques : Non disponibles.

Documents de référence : [Vos, 1995 ; Murphy, 1991]

PI.5 Maintien d'un espace de libre circulation pour le flux de gaz dans le four à coke

Description : La chambre du four est habituellement maintenue sous une pression légèrement positive pendant la cokéfaction. Une pression négative permettrait à l'air de pénétrer dans la chambre, ce qui entraînerait une combustion partielle du coke et la destruction du four. Le fond du four doit être à la pression atmosphérique. Selon une méthode empirique, la surpression (en mm de colonne d'eau) dans le collecteur principal est maintenue à deux fois la hauteur du four en mètres. Par conséquent, pour un four moderne de 7 m de haut, la surpression correspond à une colonne d'eau de 14 mm. Pour les fours plus anciens de 4 m de haut, la surpression dans le collecteur principal correspond à une colonne d'eau de 8 mm.

Cette différence de pression est nécessaire pour ôter les gaz et le goudron de la chambre du four à coke. La chute de pression est obtenue grâce à un robinet d'étranglement au niveau de la sortie du collecteur principal où la pression est de - 80 mm de colonne d'eau.

Un espace libre est maintenu au sommet de la chambre du four pour permettre aux gaz et au goudron volatilisé de circuler en direction de la colonne montante qui, selon les plans, est généralement située soit du côté de la défourneuse soit des deux côtés du four. Le flux de gaz peut être gêné par le fait que la charge de charbon atteint le sommet du four et par l'encrassement au graphite de la partie supérieure du four. Si le flux de gaz est obstrué dans le four, il se produira des fuites par les portes et par la bouche d'enfournement, parce que la surpression augmente à l'arrière de l'obstruction.

Cette situation peut être évitée en nivelant de manière appropriée la charge de charbon, en enlevant régulièrement le graphite qui s'est accumulé sur le toit du four et en nettoyant périodiquement la tête de cheval (voir également PI.2)

L'accumulation du graphite sur le haut du four peut être minimisée en répartissant convenablement la chaleur sur les parois du four.

Applicabilité : Cette mesure est applicable aux installations existantes aussi bien qu'aux nouvelles.

Principaux niveaux d'émissions atteints : Une bonne répartition de la pression dans la chambre du four à coke réduit les émissions diffuses et les fuites de manière significative. En outre, cela réduit le risque de bourrage de la charge de coke lors du défournement.

Installations de référence : Toutes les installations qui ont un bon programme de maintenance (voir PI.2) et qui cherchent à minimiser les fuites à travers les portes appliquent cette technique.

Effets croisés : Pas d'effets croisés.

Données opérationnelles : Non disponibles

Aspects économiques : Non disponibles

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

PI.6 Réduction des émissions pendant la phase de cuisson

Description : La chaleur du processus de cokéfaction provient du chauffage d'un combustible gazeux dans les piédroits. La chaleur est transférée à la chambre du four à coke par conduction à travers les murs en briques réfractaires. Plus la température est élevée dans la chambre du four, plus la durée de cokéfaction est courte. Les principaux polluants issus de la cuisson dans les fours sont le NO_x , le SO_2 et les particules.

Le niveau d'émissions de SO_2 est fortement lié à la teneur en soufre du combustible. Les émissions de SO_2 peuvent donc être minimisées en minimisant la teneur en soufre du combustible. En règle générale, le gaz de haut fourneau (enrichi) ou le gaz de cokerie servent à échauffer les fours à coke. La teneur en soufre du gaz de cokerie dépend de l'efficacité de la désulfuration dans l'installation de traitement du gaz de cokerie. La teneur en H_2S du gaz de cokerie peut varier de 50 mg/Nm^3 environ à $1\,000 \text{ mg/Nm}^3$, selon le procédé de désulfuration utilisé et son efficacité. Si l'on ne procède à aucune désulfuration (ce qui est encore le cas dans certaines installations de l'UE), la teneur en H_2S peut atteindre $8\,000 \text{ mg/Nm}^3$. La teneur en soufre du gaz de haut fourneau enrichi est faible. L'un des principaux paramètres du processus de désulfuration du gaz de cokerie est la température du gaz.

Les émissions de SO_2 et de particules peuvent augmenter de manière significative si le gaz de cokerie brut contenu dans les chambres des fours fuit à travers des fissures dans les piédroits et est brûlé avec le combustible de chauffe (voir également EP3).

Le cas du NO_x est un peu plus compliqué. Le NO_x produit est presque entièrement constitué de NO_x thermique, formé par la réaction entre N_2 et O_2 dans les flammes. La formation de NO_x thermique est fortement liée aux températures maximales et aux concentrations d' O_2 dans les flammes. Indirectement, les émissions de NO_x sont également liées au combustible (gaz de haut fourneau enrichi ou gaz de cokerie) ainsi qu'au type de charbon utilisé, au poids de la charge de charbon en question, à la durée de cokéfaction et aux dimensions de la chambre du four à coke.

Le moyen le plus efficace pour réduire la formation de NO_x est de réduire la température de la flamme dans le piédroit. L'objectif est donc que la combustion se fasse avec une flamme moins chaude. Trois méthodes se sont avérées efficaces pour y parvenir :

- Recirculation des gaz résiduels. Le gaz de combustion en provenance du four à coke est mélangé avec le combustible et l'air de combustion. La concentration plus basse en O_2 et la concentration plus élevée en CO_2 réduisent la température de la flamme. Toutefois, l'effet de préchauffage de la recirculation des gaz résiduels peut neutraliser l'effet de réduction de la température.
- Combustion par injection étagée d'air. En ajoutant l'air de combustion en plusieurs étapes, les conditions de combustion deviennent plus modérées et la formation de NO_x est réduite.
- Diminution de la température de cokéfaction. La baisse de la température de cokéfaction a une influence sur les données économiques et sur l'efficacité énergétique des fours à coke. Une température de cokéfaction plus basse exige une température plus basse dans le piédroit, ce qui réduit la formation de NO_x .

Par ailleurs, il est possible de baisser la température du piédroit (et par conséquent de réduire la formation de NO_x) tout en maintenant une température de cokéfaction normale, en réduisant le gradient thermique du mur de briques réfractaires entre le côté piédroit et le côté chambre du four à coke. On peut y parvenir en utilisant des briques plus fines et un réfractaire doté d'une meilleure conductivité thermique. Auparavant, une température de $1\,320^\circ\text{C}$ dans le piédroit donnait une température de $1\,180^\circ\text{C}$ dans la

chambre du four. Dorénavant, on peut atteindre une température de 1 200°C dans la chambre du four avec la même température du piédroit, grâce à des briques plus fines.

Applicabilité : Les mesures de réduction des NO_x intégrées au processus sont applicables dans les nouvelles installations. Si l'on abaisse la température dans une installation existante, on rallonge la durée de cokéfaction et l'exploitation de l'installation passe sous la capacité nominale.

Principaux niveaux d'émissions atteints : Pour les installations existantes sans mesures de suppression du NO_x intégrées au processus, telles que la combustion par injection étagée d'air, les niveaux de NO_x réalisables sont compris entre 1 300 et 1 900 g/t de coke (concentrations : 600 à 1500 mg/Nm³ à 5 % d'O₂). Le Tableau 6.2 montre des facteurs d'émissions compris entre 700 et 1800 g/t de coke. Les installations qui ont mis en œuvre des mesures de réduction du NO_x intégrées au processus enregistrent des émissions de NO_x situées entre 450 et 700 g de NO_x/t de coke (concentrations : 500 à 770 mg/Nm³ à 5 % d'O₂).

Installations de référence : La plupart des installations modernes sont équipées de systèmes de cuisson à faibles émissions de NO_x. Par exemple :

Four à coke Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH à Huckingen (Allemagne)

Four à coke Prosper à Bottrop (Allemagne)

Batterie de fours n° 5 de Ruhrkohle Hassel à Gelsenkirchen (Allemagne)

Effets croisés : Lorsque l'on augmente la capacité de refroidissement des refroidisseurs de gaz brut, dans le but d'améliorer l'efficacité de la désulfuration, la consommation d'énergie augmente, de même que les éventuelles émissions thermiques. On n'a identifié aucun effet croisé résultant des opérations visant à diminuer les émissions de NO_x provenant de la cuisson.

Données opérationnelles : Non disponibles

Aspects économiques : Non disponibles

Documents de référence : [Eisenhut, 1988 ; Stahlerm, 1995]

PI.7 Extinction du coke à sec

Description : Sur la base d'un brevet suisse, le procédé d'extinction du coke à sec (CDQ) a été mis au point à l'origine à l'échelle industrielle dans l'ancienne Union Soviétique au début des années 1960 (le procédé appelé « Giprokoks »). Il était prévu de l'appliquer dans des cokeries situées dans des régions soumises à de longues périodes de froid très intense, comme par exemple la Sibérie, la Finlande, la Pologne, où l'extinction par voie humide du coke est difficile, voire impossible. En outre, les installations dans ces régions nécessitent des quantités d'énergie considérables pour le chauffage (vapeur et/ou électricité), le chauffage des tuyauteries par traçage et les équipements de dégivrage [Bussmann, 1985]. Par la suite, du fait de la structure spécifique du marché de l'approvisionnement énergétique japonais, le procédé Giprokoks y a été appliqué et a ensuite enregistré des évolutions systématiques à partir de 1973 environ. La Figure 6.11 illustre le plan d'une installation de CDQ actuelle, composée de l'unité de refroidissement en forme de cheminée verticale, de la chaudière de récupération de chaleur et du dispositif de recyclage du gaz.

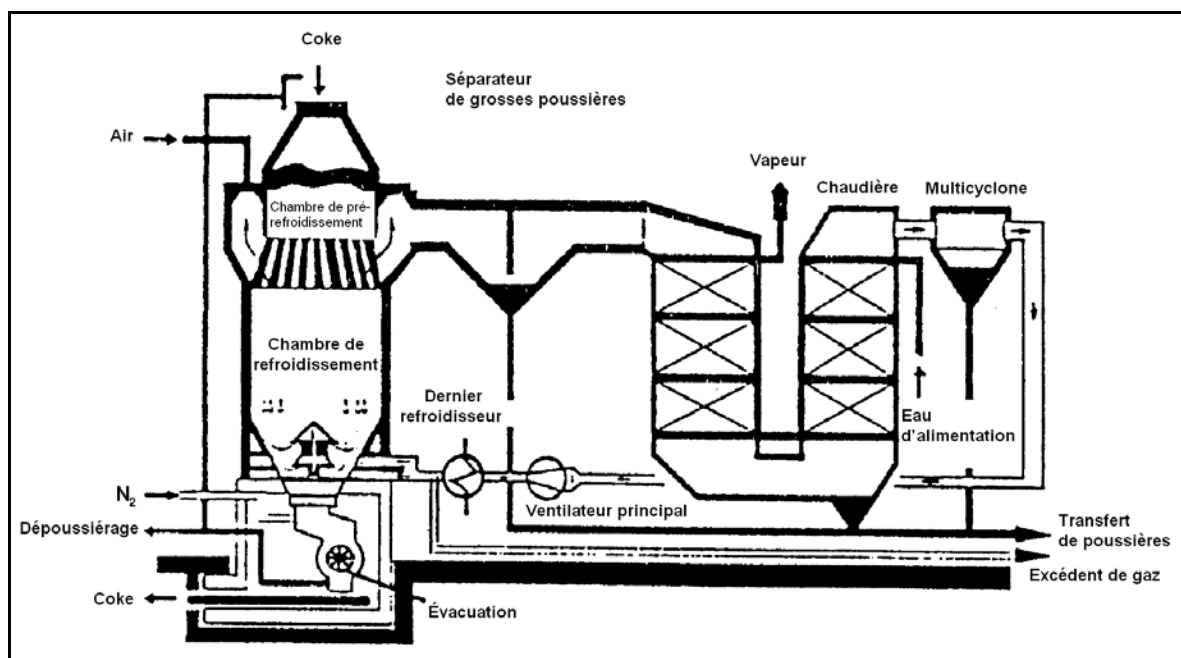


Figure 6.11 : Schéma d'une installation d'extinction du coke à sec – [Schönmuth, 1994]

Le coke carbonisé passe tout d'abord de la batterie (soit directement soit via un conteneur ou sur un monte-charge) à l'unité de refroidissement, où le coke est déversé vers le bas à travers une ouverture dans la cheminée. Pendant que la colonne de coke descend à une vitesse constante, elle émet sa chaleur sensible à travers un gaz largement inerte et circulant en sens inverse. Le coke refroidi (à 180 à 200°C) est déversé par le fond de la cheminée à travers des vannes et transporté par un équipement adéquat. Le gaz, qui est recyclé par l'intermédiaire d'une soufflante, a une température comprise entre 750 et 800°C ; il est débarrassé de cette chaleur absorbée dans une chaudière de récupération de chaleur située en aval qui sert à produire de la vapeur (environ 0,5 t de vapeur (480°C, 60 bar)/t de coke). Il est ensuite réintroduit dans la cheminée de refroidissement. Des précipitateurs de particules de grande et de petite taille garantissent que la chaudière et la soufflante sont protégées des poussières de coke volantes. A cause de la formation ultérieure de gaz de coke, le gaz inerte s'enrichit en monoxyde de carbone et autres composés, ce qui rend nécessaire, de temps à autres, l'expulsion de gaz. Cet excès de gaz est traité dans des dispositifs de

dépoussiérage, de préférence dans un filtre à manche avec une teneur en poussières résiduelles inférieure à 5 mg/Nm^3 . Il va ensuite alimenter le gaz de chauffage de la batterie de fours à coke [Schönmath, 1994 ; Bussmann, 1985]. A environ $50 \text{ Nm}^3/\text{t}$ de coke, le flux de gaz en excès est relativement faible.

Applicabilité : Du point de vue technique, le procédé CDQ peut en principe être appliqué à des installations existantes ou nouvelles. Du fait du taux d'utilisation limité du procédé CDQ, toutes les cokeries appliquant le CDQ doivent également avoir une station d'extinction par voie humide.

Principaux niveaux d'émissions atteints : Les avantages du procédé CDQ par rapport à l'extinction par voie humide sont la récupération d'énergie et une meilleure performance environnementale (réduction des émissions de poussières, de monoxyde de carbone et de sulfure d'hydrogène).

Grâce au CDQ, il est possible de récupérer environ $0,5 \text{ t}$ de vapeur (480°C , 60 bar)/ t de coke, ce qui correspond à $1,5 \text{ GJ/t}$ de coke et d'éviter les panaches de fumée. Parallèlement, il est possible de résoudre le grave problème de l'érosion de la chaudière [Ritamäki, 1996].

Lorsque l'on s'intéresse aux émissions de poussières, il faut tenir compte de l'extinction et des étapes suivantes, en particulier la manutention du coke et le criblage. A la cokerie de Kaiserstuhl (Allemagne), par exemple, les émissions de poussières provenant de la manutention et du criblage du coke ont rendu nécessaire la mise en place d'une étape de refroidissement supplémentaire (qui réduit les températures du coke à moins de 80°C). Le coke sec doit être humidifié, pour une humidité finale de 1% . Dans l'ensemble, il n'y a aucune différence significative en matière d'émissions de poussières entre le procédé CDQ avec ces mesures et l'extinction par voie humide avec minimisation des émissions (voir EP5).

Il n'y a également aucune différence significative dans les émissions de CO , à cause de l'évacuation du gaz en excès hors du circuit gazeux. La réduction des émissions de H_2S dans le procédé CDQ n'est pas significative si on la compare aux émissions globales de soufre en provenance d'une aciérie intégrée.

Bien que cela ait été revendiqué [Ritamäki, 1996 ; Wenecki, 1996], selon les exploitants allemands utilisant le CDQ, il n'y a aucune différence notable dans la qualité du coke après criblage.

Installations de référence : Selon [Ritamäki, 1996], il y a environ 60 cokeries dans 18 pays différents qui utilisent le procédé CDQ. La plupart d'entre elles sont situées dans les pays de la CEI (Communauté des États Indépendants), à cause de la rigueur des conditions climatiques (25 installations avec 109 unités) et au Japon (20 installations avec environ 33 unités), à cause des prix élevés de l'énergie. Au Japon, le CDQ équipe 80% des installations [Arimitsu, 1995].

L'UE à 15 dispose de plusieurs unités de CDQ : deux à Thyssen Stahl, Duisburg (Allemagne) [Bussmann, 1985], l'unité la plus grande du monde (250 t/h) à la cokerie de Kaiserstuhl, Dortmund (Allemagne) [Schönmath, 1994] et trois unités à Raahe Steek, Raahe (Finlande) [Ritamäki, 1996].

Effets croisés : Un inconvénient du CDQ est l'émission de particules aux endroits où le coke éteint par voie sèche est manipulé [Eisenhut, 1988 ; Schönmath, 1994]. Ces émissions peuvent être évitées par pulvérisation et/ou par transport dans des convoyeurs fermés. Lorsqu'un transport longue distance est nécessaire (par exemple dans le cas des cokeries non-intégrées), des niveaux élevés d'émissions de particules peuvent être enregistrés.

La consommation électrique des ventilateurs et des différents équipements de dépoussiérage etc. n'est pas négligeable.

Données opérationnelles : Les cokeries de Thyssen (Duisburg, Allemagne) [Bussmann, 1985], Raahe Steel (Raahe, Finlande) [Ritamäki, 1996] et Przyjazn (Pologne) [Wenecki, 1996] ont fait état de résultats

opérationnels positifs. Mais les taux d'utilisation varient considérablement. Le meilleur taux a été enregistré pour le CDQ de Raahe Steel (avec 99,9 %) [Ritamäki, 1996], car il y a trois unités de CDQ, dont l'une est en stand-by en permanence. Les taux moyens d'utilisation calculés à partir de toutes les installations existantes sont compris entre 80 et 90 %. Les taux les plus bas sont compris entre 40 et 60 % [Ritamäki, 1996]. C'est pourquoi toutes les cokeries ayant recours au CDQ disposent également d'une station d'extinction par voie humide.

Aspects économiques : L'aspect économique est le point crucial du CDQ. Les coûts d'investissement et de fonctionnement sont très élevés. Les dépenses en capital pour un dispositif de CDQ dans une cokerie qui produit 2 Mt/an sont d'environ 110 Mécu₁₉₉₆. Il s'agit de 10 à 15 fois plus que le coût de fonctionnement d'une station d'extinction par voie humide (qui inclut la tour d'extinction, les réservoirs de sédimentation, les pompes etc.). En outre, il est nécessaire d'installer une station d'extinction par voie humide à cause du taux d'utilisation limité du CDQ. Il a également été mentionné que l'investissement peut être 15 à 20 fois supérieur. Ceci équivaut à 40 à 60 écu₁₉₉₆/t de coke. Les coûts de fonctionnement (sans les dépenses en capital) se montent à 7 à 8 écu₁₉₉₆/t de coke. La valeur de la vapeur produite (480°C, 60 bar) est également de 7 à 8 écu₁₉₉₆/t de coke ; elle est calculée à partir des prix du gaz naturel en Allemagne. Dans l'UE, il donc est impossible d'exploiter un dispositif de CDQ de manière rentable. C'est la raison pour laquelle cette technique n'est appliquée que dans peu de cas. La rentabilité économique dépend directement du niveau des prix de l'énergie. Au Japon, où l'énergie est sensiblement plus chère, l'unité de CDQ est considérée comme une unité de production d'énergie et l'application de ce procédé est très répandue.

Documents de référence : [Arimitsu, 1995 ; Bussmann, 1985 ; Eisenhut, 1988 ; Ritamäki, 1996 ; Schönmath, 1994 ; Wenecki, 1996]

PI.8 Agrandissement des chambres du four

Description : La mise au point de chambres de fours à coke plus larges et plus hautes repose sur deux grands principes : la réduction du nombre de défournements par jour et la réduction de la longueur des surfaces d'étanchéisation.

La principale caractéristique d'un four à coke haut ou large est son grand volume par rapport aux fours conventionnels. Ainsi, pour une production donnée, le joint de la porte est moins long et la fréquence des défournements est réduite. Il faut néanmoins prêter une attention particulière à l'étanchéisation dans la mesure où il est plus difficile de préserver l'hermétisme de ce type de fours, en particulier aux extrémités hautes et basses (voir PI.3).

Applicabilité : Cette mesure n'est applicable qu'aux nouvelles installations. Dans certains cas, on peut opter pour une chambre de four à coke plus haute lors d'une reconstruction complète de l'installation sur les anciennes fondations.

Principaux niveaux d'émissions atteints : Lorsque la maintenance est correctement effectuée et que l'on utilise des portes à joints flexibles et à ressorts dans des conditions d'exploitation comparables, on peut s'attendre à ce que les émissions (fugitives) totales par tonne de coke qui passent à travers les joints des portes et de leur cadre soient directement proportionnelles à la diminution de la longueur des joints par rapport à des fours à coke conventionnels. Les portes de fours plus hautes exigent une maintenance plus importante.

On peut s'attendre à une réduction des émissions provenant des opérations de défournement, étant donné que moins d'opérations sont nécessaires par tonne de coke et que les émissions sont directement proportionnelles au nombre de défournements. Toutefois, les facteurs d'émission (émission par tonne de coke) ne sont pas influencés par l'augmentation de la taille des chambres des fours.

Installations de référence :

Batterie de fours à coke, Huckingen (Allemagne),

Batterie de fours à coke Prosper n°3, Bottrop (Allemagne),

Cokerie Kaiserstuhl, Dortmund (Allemagne).

Effets croisés : Il est possible que des émissions fugitives visibles soient constatées à travers les portes.

Données opérationnelles : Le Tableau 6.7 présente les caractéristiques de plusieurs fours à coke.

Aspect	Unité	Petit	Moyen	Grand		
				Huckingen	Prosper	Kaiserstuhl
Dimensions (utiles)						
Hauteur	[m]	4,5	6	7,85	7,1	7,63
Longueur	[m]	11,7	14,2	17,2	15,9	18
Largeur	[m]	0,45	0,45	0,55	0,59	0,61
Volume utile	[m ³]	22,1	36,4	70	62,3	78,9
Productivité	[t de coke/four]	12,7	21,3	43	39,8	48,7

Nombre de fours	[#]	322	187	120	142	120
Nombre total d'ouvertures des fours	[#]	2 898	1 496	1 080	1 278	1 080
Longueur des surfaces d'étanchéisation	[km]	10,5	6,9	6	6,2	5,5
Défournements	[#/d]	430	257	128	138	115
Nombre total d'actions d'ouverture	[#/d]	3 870	2 056	1 152	1 242	1 035
Longueur des surfaces d'étanchéisation à nettoyer	[km/d]	14	9,5	5,6	6	5,3

Tableau 6.7 : Caractéristiques de différents types de fours à coke – [Eisenhut, 1988]

Aucun problème spécifique n'a été enregistré dans les installations disposant de fours à chambres larges et hautes. Les exigences en matière de résistance des parois sont plus élevées.

Aspects économiques : Non disponibles.

Documents de référence : [Eisenhut, 1988 ; Stahlerm, 1990]

PI.9 Cokéfaction sans récupération

Description : Dans le procédé de cokéfaction sans récupération, la quasi-totalité du goudron et des gaz issus de la cokéfaction est brûlée dans le four et dans le carneau de la sole. Le procédé de cokéfaction sans récupération exige des fours de conception différente de celle des fours traditionnels. La présence d'une installation de traitement des gaz et d'une station d'épuration des eaux usées n'est pas nécessaire.

De l'air primaire pour la combustion partielle est introduit dans la chambre du four au dessus des bouches d'enfournement situés dans les portes. Cette combustion partielle fournit la chaleur pour la cokéfaction dans la partie haute du four (« couronne du four »). La quantité d'air primaire est contrôlée pour maintenir la température souhaitée dans la couronne du four.

Les gaz partiellement brûlés quittent la chambre du four par des passages situés dans les parois et entrent dans le carneau de la sole, où de l'air secondaire est ajouté pour achever la combustion. La chaleur de la combustion secondaire est transférée à la chambre du four par conduction de chaleur à travers le sol réfractaire.

Les gaz de combustion sont dirigés vers un collecteur principal puis acheminés à travers une chaudière de récupération de chaleur avant d'être rejetés dans l'air. Le système tout entier fonctionne à une pression sous-atmosphérique.

Le four est beaucoup plus large et moins élevé qu'un four classique à sous-produits. Le remplissage est toutefois comparable. Le Tableau 6.8 présente les caractéristiques typiques des fours à coke sans récupération.

Caractéristique	Valeur
Longueur du four	15,6 m
Largeur du four	4,2 m
Distance à l'axe principal	5,2 m
Remplissage	23 à 43 t
Durée de cokéfaction (nominale)	24 à 48 h

Tableau 6.8 : Caractéristiques de dimensionnement d'un four à coke sans récupération d'après [Knoerzer, 1991]

La méthode habituelle de chargement d'un four à coke est le déversement du charbon depuis une enfourneuse dans la chambre du four à travers les bouches d'enfournement. Dans le cas d'un système sans récupération, l'enfournement est effectué à travers l'ouverture de la porte latérale côté défournement, à l'aide d'un combiné enfournement-défournement.

L'installation de l'usine d'Indiana Harbour de la Inland Steel Company a été mise en service en mai 1998. Elle sert à alimenter l'un des plus grands hauts fourneaux du monde. La matière première est limitée à certains types de charbon [Eisenhut, 1992 ; Nashan, 1997]. La conception horizontale des fours implique que l'on peut utiliser du charbon gonflant.

Applicabilité : N'est applicable que dans le cadre d'une toute nouvelle installation.

Principaux niveaux d'émissions atteints : Le Tableau 6.9 donne les valeurs des émissions en provenance d'une installation de cokéfaction sans récupération. Les valeurs se rapportent à des émissions sans application d'un système de réduction. A Vansant (Virginie), une partie des gaz de combustion est

nettoyée dans un séchoir thermique, mais le reste des fours fonctionne sans dispositif d'épuration des gaz de combustion.

Composé	Unité	Valeur	Unité	Valeur
Particules	mg/Nm ³	n.d.	g/t de coke	1 960
SO ₂	mg/Nm ³	n.d.	g/t de coke	7 000
NO _x	mg/Nm ³	n.d.	g/t de coke	380
CO	mg/Nm ³	n.d.	g/t de coke	77

Tableau 6.9 : Émissions d'un processus de cokéfaction sans récupération et sans réduction des émissions – d'après [Knoerzer, 1991] ; calculé à partir de g/t de coke, sur la base de la supposition suivante : 1 tonne de charbon permet de produire 0,78 t de coke (voir le paragraphe 6.1.2.3)

Parce que le four à coke fonctionne à une pression sous-atmosphérique, les émissions à travers les portes au cours de la cokéfaction sont négligeables. Les émissions provenant de l'enfournement et du défournement sont résumées dans le Tableau 6.10. Il est à noter que les deux batteries existantes ne sont pas équipées d'installations de dépoussiérage pendant l'enfournement et le défournement.

Composé	Unité*	Enfournement	Défournement
Particules	g/t de coke	7,35	276**
Composés organiques solubles, benzène	g/t de coke	Non détecté	0,65
Benzo(a)pyrène	g/t de coke	1,3 x 10 ⁻⁵	Non détecté

* basé sur les facteurs d'émission de l'EPA-USA

Tableau 6.10 : Émissions des opérations d'enfournement et de défournement du processus de cokéfaction sans récupération - d'après [Knoerzer, 1991] ; calculé à partir de g/t de coke, sur la base de la supposition suivante : 1 tonne de charbon permet de produire 0,78 t de coke (voir 6.1.2.3)

Installations de référence : Les fours à coke sans récupération fonctionnent depuis 1962. Les installations actuellement en service sont : les batteries 3B et 3C de la Jewell Coal and Coke Company à Vansant, Virginie (USA).

Une installation de cokéfaction sans récupération est également en construction dans l'usine d'Indiana Harbour de la Inland Steel Company (USA). Cette installation devait commencer sa production en mai 1998.

À l'heure actuelle, il n'existe aucune installation de cokéfaction sans récupération en service ou envisagée en Europe.

Effets croisés : Ce concept d'installation entraîne beaucoup moins d'effets croisés qu'avec les fours traditionnels. Toutefois, les émissions de SO₂ et de particules qui s'échappent des cheminées de cuisson des fours à coke sont plus élevées que dans le processus de cokéfaction conventionnel. Si l'on utilise un épurateur pour réduire les émissions de SO₂ et de particules dans l'air, on génère un flux d'eau contaminée. L'installation actuellement en construction sera équipée d'un dispositif de désulfuration des gaz de combustion.

L'un des inconvénients d'un système de cokéfaction sans récupération est la vaste surface qu'occupent les fours, du fait de leur configuration horizontale.

La combustion partielle donne une moindre production de coke de haut fourneau.

Dans les aciéries intégrées, il semble très difficile d'établir un lien énergétique économiquement rentable entre une installation de cokéfaction sans récupération et le réseau énergétique existant.

Données opérationnelles : La batterie 3B de la Jewell Coal and Coke Company a été mise en service en 1989 et la batterie 3C en 1990. Il n'existe aucun problème spécifique connu.

Aspects économiques : Le coût d'une cokerie sans récupération intégralement nouvelle, avec une production de 1,2 millions de tonnes par an, est de 185 millions USD₁₉₉₆, sans compter les coûts de manutention du charbon ni de production d'électricité. Ceci correspond approximativement à 147 millions d'écu₁₉₉₆.

Les frais d'exploitation de la nouvelle cokerie sans récupération sont estimés à environ 16,6 USD₁₉₉₆/t de coke, soit 13,2 écu₁₉₉₆/t de coke.

Documents de référence : [Knoerzer, 1991 ; Shoup, 1991 ; Eisenhut, 1992 ; Nashan, 1997]

EP.1 Minimisation des émissions d'enfournement

Description : L'enfournement est la plupart du temps effectué par gravité à l'aide d'enfourneuses. Il existe trois techniques de base pour ce type de chargement :

1. Le chargement « sans fumée ». Ce système repose sur des connexions hermétiques entre le four à coke et l'enfourneuse. Les chambres sont rapidement remplies à travers 4 à 5 bouches d'enfournement, en règle générale. L'aspiration est obtenue par injection de vapeur ou d'eau dans la tête de cheval de la colonne montante.
2. Le chargement séquentiel (ou par étapes). Dans ce cas, les bouches d'enfournement reçoivent leurs charges l'un après l'autre. Ce type d'enfournement prend un temps relativement long. L'aspiration est créée des deux côtés du four, soit par l'utilisation de deux colonnes montantes (s'il y en a), soit par l'utilisation de la colonne montante et d'une conduite raccordée au four adjacent. Les connexions entre l'enfourneuse et le four ne sont pas étanches mais, à cause du phénomène d'aspiration, il n'y a pratiquement aucune émission lorsque seul un orifice est ouvert sur l'extérieur.
3. Le chargement par manches télescopiques, également connu sous le nom de « chargement japonais ». Ce type d'enfournement est effectué par chargement simultané à travers les quatre (en général) bouches d'enfournement. Les connexions entre l'enfourneuse et le four à coke ne sont pas étanches, mais elles sont fermées par des « manches télescopiques » à partir desquelles les gaz sont extraits et acheminés vers un collecteur principal via une connexion entre ce dernier et l'enfourneuse. Les gaz extraits sont brûlés puis conduits à travers un dispositif d'arrêt *des particules* qui est positionné sur le sol. Dans certains cas, les gaz extraits sont traités sur l'enfourneuse.

Le chargement peut également être effectué par transfert du charbon à travers des pipelines. Deux systèmes ont été mis au point pour le chargement par pipeline :

1. un système de pipeline central avec des connexions à tous les fours
2. un pipeline relié à une enfourneuse, grâce à laquelle le charbon est chargé

Le préchauffage du charbon permet le chargement par pipeline.

Au cours du processus de nivellement qui a lieu après le chargement, une garniture d'étanchéité des portes de repalage contre le bras repaleur peut permettre de minimiser les émissions à travers ces portes.

Applicabilité : Applicable à la fois aux installations existantes et aux nouvelles.

Principaux niveaux d'émissions atteints : Les émissions d'enfournement peuvent être très basses pour tous ces systèmes. Le principal facteur déterminant est la surpression dans la chambre du four et les télescopes de chargement. Certains de ces systèmes sont plus vulnérables que d'autres à des problèmes de fonctionnement.

Les émissions d'enfournement sont difficiles à quantifier mais il est habituellement possible d'atteindre moins de 30 secondes d'émissions visibles par charge. Dans des conditions optimales, on peut obtenir des émissions de moins de 10 secondes.

Les émissions de particules constatées lors du chargement à l'aide de manches télescopiques, avec collecteur de poussières sur l'enfourneuse, sont inférieures à 5 g/t de coke (concentration < 50 mg/Nm³). Dans ce cas, le gaz évacué est brûlé avant d'être rejeté.

Installations de référence : L'enfournement avec minimisation des émissions est pratiqué dans de nombreuses installations dans le monde entier. On peut citer les exemples suivants :

Chargement « sans fumées » :

Four à coke 2, Hoogovens IJmuiden, IJmuiden (Pays-Bas)

Chargement séquentiel (par étapes) :

Plusieurs installations aux USA

Four à coke Mannesmann Hüttenwerke Krupp, Huckingen (Allemagne)

Four à coke Prosper, Bottrop (Allemagne)

Chargement « japonais » :

Four à coke 1, Kawasaki Steel Corporation, usine de Chiba (Japon)

Four à coke, Nippon Steel Corporation, usine de Kimitsu (Japon)

Four à coke, Sumitomo Metal Industries, usine de Wakayama (Japon)

Four à coke 1, Hoogovens IJmuiden, IJmuiden (Pays-Bas)

Four à coke, ZK Saar & Gneisenau (Allemagne)

Données opérationnelles : Non disponibles.

Aspects économiques : Non disponibles.

Documents de référence : [Eisenhut, 1988]

EP.2 Étanchéisation des colonnes montantes et des bouches d'enfournement

Description : Pendant la période de cokéfaction, les émissions diffuses qui proviennent des ouvertures des fours à coke peuvent être minimisées en scellant hermétiquement ces ouvertures après les opérations de défournement et d'enfournement. Toutefois, ces mesures ne sont efficaces que si elles sont accompagnées d'une maintenance et d'un nettoyage minutieux [Eisenhut, 1988].

Dans la plupart des nouvelles cokeries, l'équipement standard consiste en des colonnes montantes à étanchéisation hydraulique (Figure 6.12).

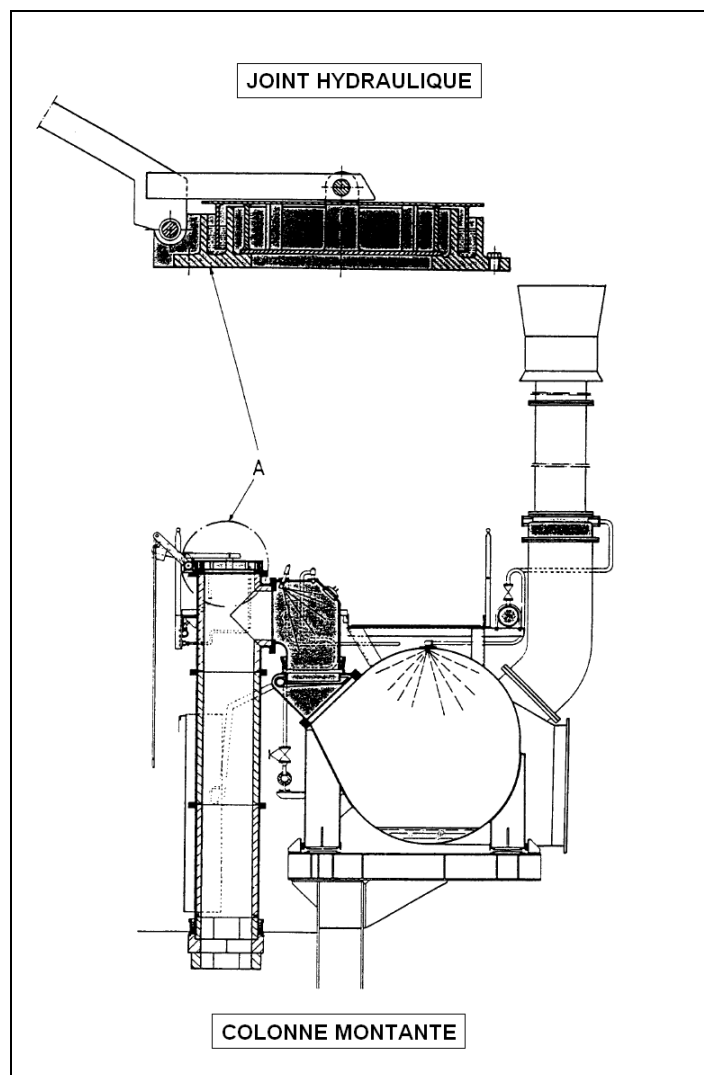


Figure 6.12 : Colonne montante d'une chambre de four à coke

Par ailleurs, de nombreuses installations anciennes sont également équipées de colonnes montantes à étanchéisation hydraulique. Les joints hydrauliques peuvent être très efficaces, sous réserve que le réseau d'alimentation en eau ainsi que les conduites d'écoulement ne soient pas obstrués.

Actuellement, la meilleure façon d'étanchéifier les bouches d'enfournement consiste à les luter avec soin à l'aide d'une suspension d'argile dans l'eau.

Applicabilité : cette mesure est applicable aux anciennes installations aussi bien qu'aux nouvelles. Dans les nouvelles installations, la conception des colonnes montantes et des bouches d'enfournement peut être optimisée de manière à réduire les émissions fugitives.

Principaux niveaux d'émissions atteints : L'étanchéisation hydraulique des colonnes montantes permet de réduire de manière significative les émissions de particules, de CO et d'hydrocarbures (voir également le Tableau 6.3). Exprimé en termes de fréquence de fuite (% du nombre total de bouches d'enfournement), il est possible d'atteindre, avec des couvercles lutés, un maximum de 1 % des bouches d'enfournement présentant des fuites visibles (voir également le Tableau 6.3).

Installations de référence : Dans le monde, de nombreuses installations sont équipées de colonnes montantes à étanchéisation hydraulique. En outre, on lute les bouches d'enfournement dans presque toutes les installations, automatiquement ou manuellement.

Effets croisés : Les colonnes montantes à étanchéisation hydraulique génèrent un flux d'eaux usées. Toutefois, ces eaux usées peuvent être recyclées dans certains cas dans le réservoir de liqueur ammoniacale ou envoyées dans la colonne de strippage/d'extraction. Les pompes qui font circuler l'eau consomment de l'électricité.

Le lutage des bouches d'enfournement n'est à l'origine d'aucun effet croisé important.

Aspects économiques : Non disponibles.

Données opérationnelles : Non disponibles.

Documents de référence : [Eisenhut, 1988]

EP.3 Minimisation des fuites entre la chambre du four à coke et le piédroit

Description : En effectuant une maintenance permanente systématique du four à coke, conformément à la mesure PI.2, il est possible d'éviter les fuites à travers la maçonnerie. Les fuites qui traversent les fissures situées dans les briques permettent au gaz de cokerie de rejoindre le gaz de combustion issu de la cuisson dans le four. Ceci entraîne des émissions supplémentaires de SO₂, de particules et d'hydrocarbures. La présence de fissures est facile à détecter grâce aux émissions de fumées noires que l'on voit sortir de la cheminée du four à coke au cours de la cuisson. Toutefois, il est difficile de déterminer de laquelle des chambres du four proviennent les fuites. Pour localiser les fissures, on peut par exemple allumer les fours de part et d'autre d'un four éteint : la position des fissures est révélée par des flammes qui traversent les murs et pénètrent dans la chambre du four éteint.

Les fissures, les brèches et tout autre dommage affectant la surface des murs en briques réfractaires peuvent être aisément réparés par soudure oxythermique, soudure à la silicone et par pulvérisation humide ou sèche de ciment réfractaire. Dans certains cas extrêmes, il peut être nécessaire de renouveler la maçonnerie.

Applicabilité : Cette technique ne doit être utilisée que dans les installations existantes.

Principaux niveaux d'émissions atteints : Les émissions peuvent être réduites à un niveau proche de zéro lorsque la pulvérisation est correctement appliquée et que l'apparition de fissures est contrôlée. La qualité et l'état des murs réfractaires du four à coke sont également essentiels à cet égard.

Installations de référence : De nombreuses installations au sein de l'UE.

Effets croisés : Non disponibles.

Données opérationnelles : Non disponibles.

Aspects économiques : Non disponibles.

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

EP.4 Dépoussiérage de l'opération de défournement

Description : Plusieurs systèmes ont été mis au point pour minimiser, côté déchargement, les émissions de particules issues du défournement.

1. Hangars de défournement, avec évacuation et dépoussiérage.

Les particules sont évacuées dans un hangar de déchargement et dépoussiérées dans un filtre en tissu.

2. Hotte d'aspiration.

Ce système fonctionne sur le principe du dépoussiéreur par voie humide et utilise l'appel d'air thermique des gaz chargés de poussières tout en maintenant le coke sec et en évitant, de fait, la formation de sulfure d'hydrogène.

3. Wagon porte-conteneur.

Le coke est défourné directement de la cellule du four dans un wagon porte-conteneur. Il n'entre donc pas en contact avec l'oxygène et seules de petites quantités de particules sont émises. Cette technique est généralement appliquée en association avec une extinction du coke à sec (voir PI.7).

4. Machine de transfert du coke avec hotte (intégrée) et dispositif mobile de dépoussiérage.

Les particules sont évacuées par des hottes intégrées situées sur la machine de transfert du coke.

5. Machine de transfert du coke avec hotte (intégrée), conduite stationnaire et nettoyage stationnaire du gaz, de préférence par filtration sur tissu (Figure 6.13). Ce dispositif est appelé « Système du Ministre Stein ».

Pendant toute la durée du processus de défournement, le wagon d'extinction doit être positionné dans la zone de captage du système de dépoussiérage (wagon d'extinction à un point avec des hottes (intégrées) sur la machine de transfert du coke).

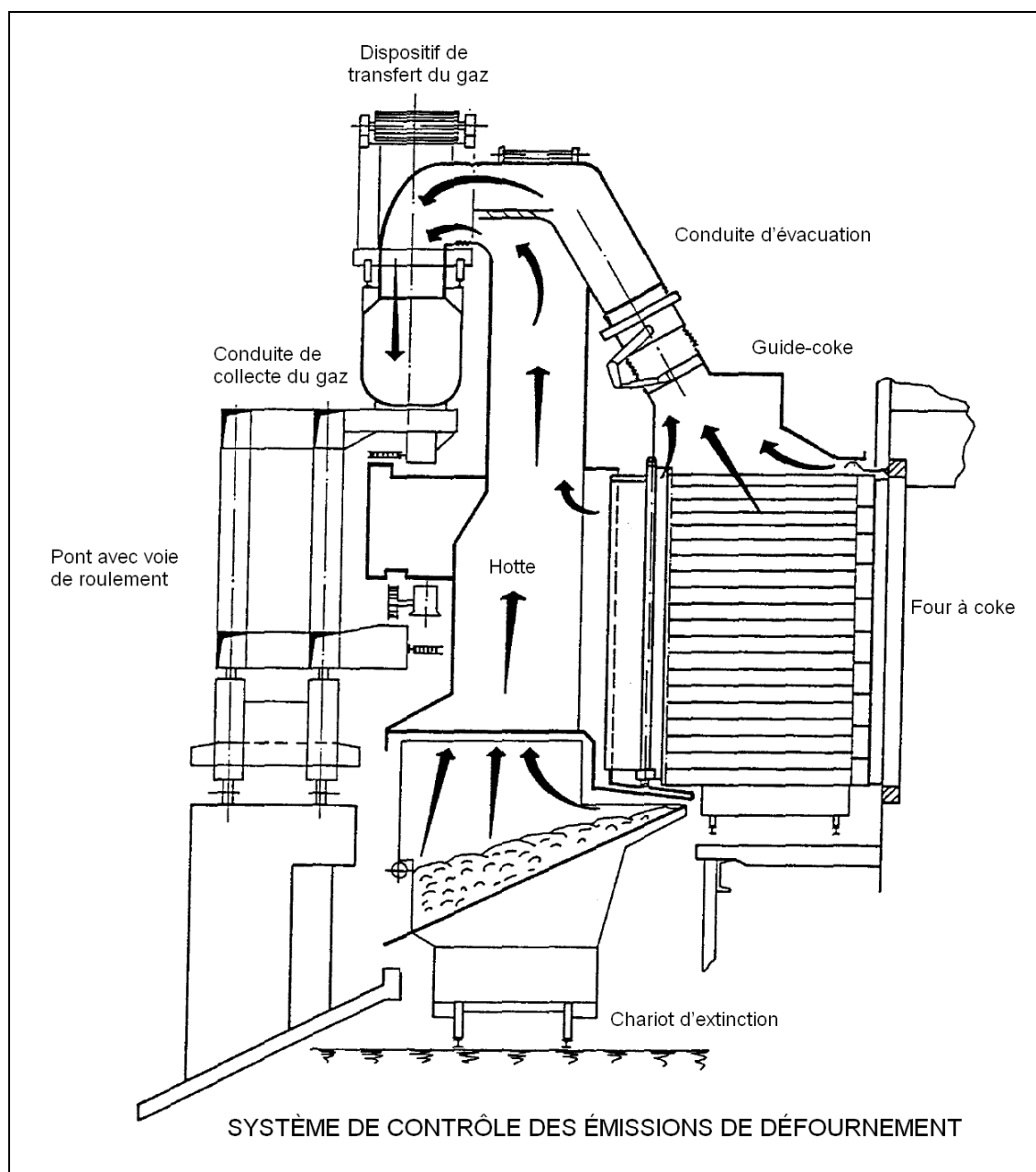


Figure 6.13 : Exemple d'un système de dépoussiérage pour la poussière de défournement

Applicabilité : Le dépoussiérage du défournement est applicable à la fois aux nouvelles installations et aux anciennes. Dans ces dernières, il faut souvent mettre au point une solution sur-mesure. Parfois, le manque de place dans l'installation représente une contrainte.

Principaux niveaux d'émissions atteints : Les émissions de particules sans réduction sont d'environ 500 g/t de coke. Des cinq techniques présentées ci-dessus, le « Système du Ministre Stein » est le plus performant, avec une efficacité de collecte supérieure à 99 %, associée à de bonnes conditions de travail pour les opérateurs (contrairement aux hangars de défournement). Des facteurs d'émission de particules (au niveau de la cheminée) inférieurs à 5 g/t de coke sont réalisables (voir également le Tableau 6.3).

Dans les installations existantes, il est également possible d'atteindre une collecte de particules supérieure à 99 %, comme cela a été constaté à la cokerie de Ruhrkohle Hassel (Allemagne), où l'on a obtenu une concentration de particules dans l'air d'évacuation inférieure à 30 mg/Nm³. Le système était lui aussi basé sur une évacuation à travers une conduite stationnaire.

La capacité d'extraction d'air est souvent de l'ordre de 200 000 Nm³/h dans les installations qui utilisent le système du Ministre Stein, mais elle dépend de la taille de la chambre. Un filtre en tissu permet de minimiser les émissions de particules.

Selon les informations disponibles, le captage et l'efficacité de suppression des poussières du système de hotte aspirante sont de 95-96 %.

Installations de référence :

Système du « Ministre Stein » :

Four à coke, United States Steel, usine de Clairton, Pittsburgh (USA)

Batterie de fours à coke de Sidmar à Gent (Belgique)

Batterie de fours à coke n°5 de Ruhrkohle Hassel (Allemagne)

Four à coke, Mannesmann Hüttenwerke Krupp, Huckingen (Allemagne)

Four à coke, Prosper, Bottrop (Allemagne)

Four à coke 1, Hoogovens IJmuiden, IJmuiden (Pays-Bas)

Four à coke 2, Hoogovens IJmuiden, IJmuiden (Pays-Bas)

Système de hotte aspirante :

ACZ de Carbonisation, Sluiskil (Pays-Bas)

Effets croisés : Le fonctionnement d'un dispositif de dépoussiérage nécessite de l'énergie pour entraîner le ventilateur qui permet d'évacuer l'air. Les solides collectés peuvent être recyclés dans le processus.

Aspects économiques : Non disponibles.

Données opérationnelles : Non disponibles.

Documents de référence : [Eisenhut, 1988 ; InfoMil, 1997]

EP.5 Minimisation des émissions lors de l'extinction par voie humide

Description : Lorsque le coke est éteint dans la tour d'extinction, *des particules* et de la brume d'eau sont générées par l'évaporation de l'eau d'extinction sur le coke incandescent, et émises sous forme de panaches. La quantité de particules volantes dépend des conditions d'exploitation, des propriétés du coke et de la façon dont l'eau est ajoutée. Des tentatives ont été faites pour réduire les émissions de particules et de vapeur d'eau à l'aide de mesures de construction, entre autres, par exemple en pulvérisant de l'eau sur le panache.

Les solutions optimales incluent l'utilisation de chicanes à lamelles dans les cheminées et une conception spécifique de la tour d'extinction (Figure 6.14).

Il est en outre possible de pratiquer une extinction par le haut et par « inondation » pour éteindre le coke avec de l'eau. Dans ce cas, l'eau est partiellement injectée via un réseau de conduites au fond du chariot d'extinction (ce qui noie le coke) et partiellement pulvérisée au dessus du coke (tandis que dans la plupart des systèmes d'extinction par voie humide, l'eau est uniquement pulvérisée sur le dessus du charbon). Les émissions de particules sont ainsi réduites. Néanmoins, la tour d'extinction reste la même que pour l'extinction par le haut, équipée du même dispositif d'arrêt des poussières (Figure 6.14). L'un des inconvénients de l'extinction par « inondation » est l'émission de morceaux de coke et du chariot d'extinction, due à la formation « explosive » de vapeur sous et à l'intérieur de la masse de coke dans le wagon d'extinction.

On utilise un type de bois spécifique pour la structure qui supporte la charge. L'équipement actuel de captage des poussières consiste en des cadres individuels qui contiennent des lamelles d'aération à persienne en plastique.

Applicabilité : Cette mesure est applicable aux installations existantes aussi bien qu'aux nouvelles. Les tours d'extinction existantes peuvent être équipées de chicanes de réduction des émissions. La tour doit avoir une hauteur minimale de 30 mètres pour garantir un appel d'air suffisant.

Principaux niveaux d'émissions atteints : Les émissions de particules lors de l'opération d'extinction humide sans mesures de réduction sont comprises entre 200 et 400 g/t de coke. Avec le système décrit ici, il est possible de les réduire au moins à 50 g/t de coke (avec un facteur d'émission avant réduction de 250 g/t de coke au maximum et une teneur en particules solides dans l'eau d'extinction inférieure à 50 mg/l). Ce facteur d'émission est garanti par le seul fournisseur européen [Nathaus, 1997]. Dans la pratique, on parvient normalement à des émissions inférieures à 25 g/t de coke. Il faut savoir qu'il est difficile d'effectuer des mesures représentatives. Les facteurs d'émission mentionnés ont été déterminés par la méthode VDI 2303 (Règles d'échantillonnage et de mesure des émissions de poussières issues de l'extinction par voie humide).

Installations de référence : Les exemples de tours d'extinction récemment construites ou modernisées et équipées de chicanes de réduction des émissions se trouvent sur les sites suivants :

- Sidmar, Gent (Belgique)
- Hüttenwerke Kruppmannmann GmbH, Duisburg (Allemagne)
- Kokerei Kaiserstuhl, Dortmund (Allemagne)
- Kokerei Hassel, Gelsenkirchen (Allemagne)
- Preussag Stahl AG, Salzgitter (Allemagne)

Ces installations atteignent toutes des facteurs d'émission inférieurs à 25 g de poussières/t de coke.

Effets croisés : La consommation d'énergie augmente avec la pulvérisation d'eau, bien que cette hausse ne soit pas significative.

Données opérationnelles : Il existe de nombreuses tours d'extinction équipées de chicanes de réduction des émissions dans le monde. Les résultats de leur exploitation sont bons.

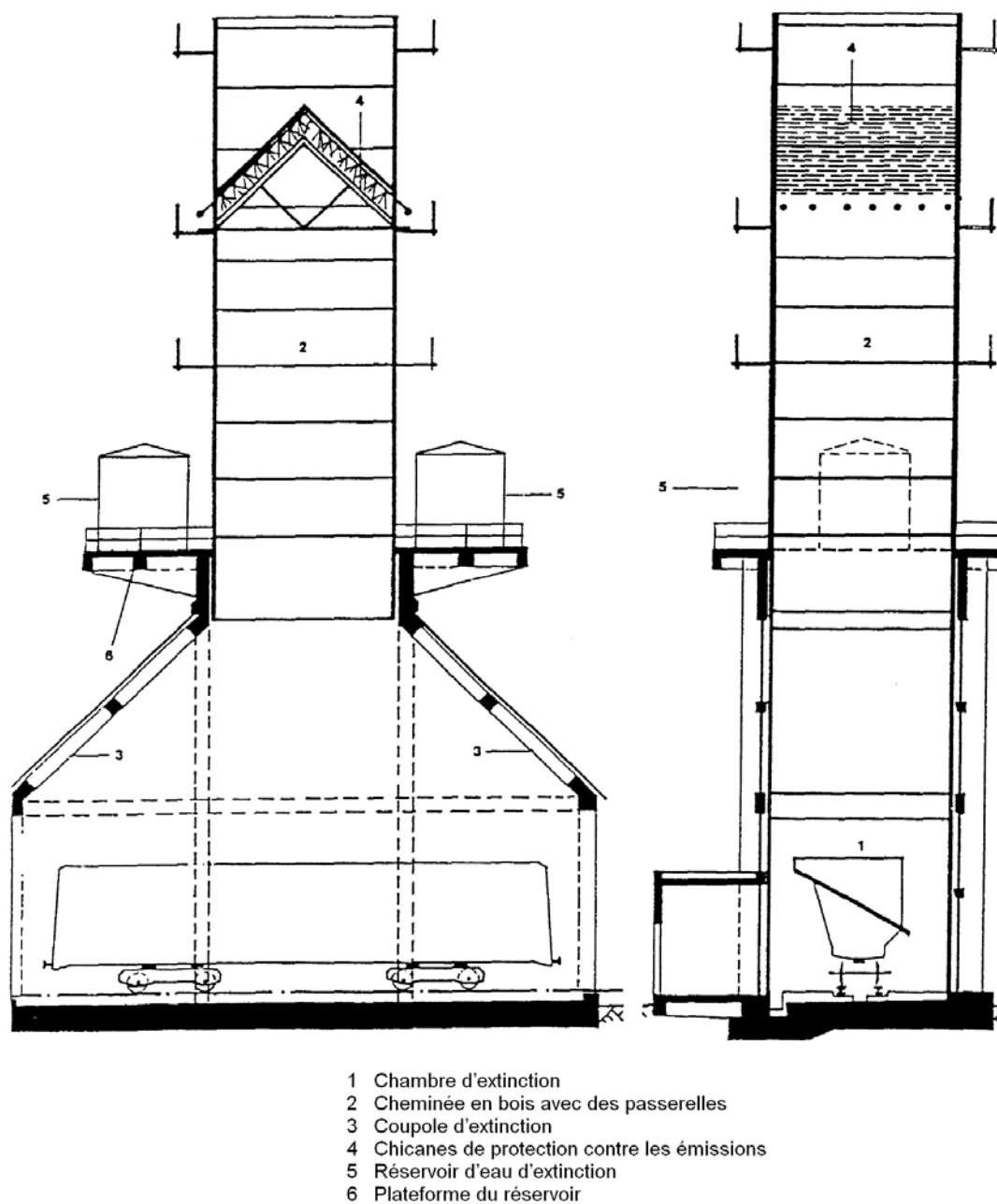


Figure 6.14 : Schéma d'une tour d'extinction équipée de chicanes de réduction des émissions

Aspects économiques : Les coûts d'installation de chicanes de réduction des émissions dans une tour d'extinction existante sont de l'ordre de 150 000 à 200 000 ECU₁₉₉₇. Le coût d'investissement pour une tour d'extinction complète munie de ce dispositif peut atteindre 11MECU₁₉₉₇ (ex. : la tour de l'installation de la cokerie Kaiserstuhl à Dortmund, Allemagne, qui est la plus grande du monde : 15 x 15 x 50m).

Moteurs de la mise en œuvre : Normalement, les conditions et les mesures d'application légales imposées par les autorités locales initient la modernisation des tours d'extinction existantes.

Documents de référence : [Nathaus, 1997]

EP.6 Suppression du NO_x dans le gaz de combustion issu de la cuisson

Description : Il est préférable de minimiser les émissions de NO_x issues de la phase de cuisson du four à coke grâce à des mesures intégrées au processus, mais il est également possible d'appliquer des techniques de fin de process.

Dans le processus de Réduction Catalytique Sélective (RCS), le NO_x des gaz de combustion est réduit par catalyse à l'aide d'ammoniac (NH₃) en N₂ et H₂O. Les catalyseurs utilisés sont souvent le pentoxyde de vanadium (V₂O₅) et l'oxyde de tungstène (WO₃) sur un porteur TiO₂ (oxyde de titane). L'oxyde de fer et le platine sont d'autres catalyseurs possibles. Les températures d'exploitation optimales sont comprises entre 300 et 400°C. Ces températures très élevées réduisent la récupération d'énergie dans les régénérateurs des fours à coke (la température idéale se situe entre 180 et 250°C) ou nécessitent un chauffage supplémentaire des gaz résiduaires.

Il faut être particulièrement vigilant à la désactivation du catalyseur, à l'accumulation de nitrate d'ammonium explosif (NH₄NO₃), au dégagement d'ammoniac et à la formation de SO₃ corrosif.

Applicabilité : La RCS n'est applicable qu'aux nouvelles installations et, si la configuration des lieux le permet, à des installations intégralement reconstruites.

Principaux niveaux d'émissions atteints : Il est possible d'atteindre une efficacité de suppression du NO_x de 90 %. On ne dispose pas de beaucoup de recul à long terme quant à l'application de ce procédé à des cokeries.

Installations de référence : La suppression du NO_x dans les gaz résiduaires issus de la cuisson dans les fours à coke est rarement appliquée. On ne connaît qu'un seul cas :

Batteries de fours à coke 2,3 et 6, Kawasaki Steel, usine de Chiba (Japon)

Effets croisés : La consommation d'énergie et la consommation d'ammoniac augmentent. Il faut se débarrasser d'une partie du catalyseur lorsqu'il n'est plus efficace.

Données opérationnelles : En 1976, une installation de RCS a été mise en service à l'usine de Chiba de la Kawasaki Steel, afin de traiter les gaz résiduaires issus de la cuisson dans les fours à coke. L'installation de RCS a une capacité de 500 000 Nm³/h. Sa température de fonctionnement est de 240°C et le catalyseur de réduction est l'ammoniac (NH₃). L'efficacité de la suppression du NO_x est de 90 %. La formation de sulfate d'ammonium et l'accumulation de poussières impliquent que le catalyseur doit être régénéré une fois par jour en chauffant les gaz résiduaires à plus de 260°C.

En 1992, l'installation de RCS a été abandonnée avec la fermeture des batteries 2 à 4.

Aspects économiques :

Investissement : 47 MECU₁₉₉₆ en 1976

Coût d'exploitation : Non disponible.

Autres données économiques :

[InfoMil, 1997] rapporte les coûts suivants liés à la RCS en général :

Investissement : 50 ECU₁₉₉₆/(Nm³/h) ± 30 % ;

Dans le cas d'une cokerie avec un flux de gaz de combustion issu de la batterie de 300 000 Nm³/h et une production de 1 Mt de coke par an, on obtient les chiffres suivants :

Investissement : 15 millions ECU₁₉₉₆ ± 5 millions

Coût d'exploitation : 0,17 à 0,51 ECU₁₉₉₆/t de coke

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

EP.7 Désulfuration du gaz de cokerie

Description : À cause de sa teneur en sulfure d'hydrogène (H_2S) (jusqu'à 8 g/Nm^3), le gaz de cokerie non purifié ne peut pas être utilisé dans de nombreuses applications industrielles. Lorsque le gaz a été désulfuré, en revanche, sa gamme d'applications devient très variée. De nombreuses installations vendent désormais leur gaz de cokerie désulfuré et en tirent des profits. Cette désulfuration à but commercial coïncide avec la nécessité de protéger l'environnement de l'effet des « pluies acides » puisqu'elle réduit les émissions de SO_2 des sites qui brûlent les gaz de cokerie. Dans de nombreux cas, le soufre est enlevé en deux phases : une phase à basse pression et une phase à haute pression. Bien que la désulfuration du gaz de cokerie ne soit pas encore une pratique généralisée dans l'UE à 15, sa mise en œuvre devient de plus en plus courante.

Le gaz de cokerie contient également plusieurs composés organiques soufrés tels que le disulfure de carbone (CS_2), l'oxysulfure de carbone (COS), les mercaptans etc. (environ $0,5 \text{ g/Nm}^3$ au total). Toutefois, on ne dispose encore que de connaissances limitées sur la façon de récupérer les composés organiques soufrés dans le gaz de cokerie.

Comme cela a été décrit dans le paragraphe 6.1.3.3, il existe deux grands types de procédés de désulfuration du gaz de cokerie : les procédés oxydatifs par voie humide et les procédés par absorption. Ces derniers associent l'élimination et la transformation du H_2S à l'élimination et la transformation de l'ammoniac (NH_3). Le Tableau 6.11 présente les différents procédés et leurs caractéristiques.

Procédés oxydatifs par voie humide		Procédés par absorption/strippage	
Nom	Description	Nom	Description
Stretford	Le H_2S est enlevé du gaz de cokerie à l'aide d'une solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3) ce qui, catalysé avec du vanadate (VO_3), produit du soufre élémentaire (S^0). La régénération du liquide de lavage se fait par injection d' O_2 , avec de l'acide disulfonique anthraquinone (ADA) comme catalyseur.	Carl Still, Diamex ou ASK*	Le H_2S est enlevé du gaz de cokerie par une solution de NH_3 . Celle-ci provient du laveur de NH_3 . Le H_2S et le NH_3 sont enlevés de la liqueur de lavage par strippage à la vapeur et les vapeurs sont envoyées vers un atelier Claus de récupération du soufre ou vers une usine d'acide sulfurique.
Takahax	Similaire au procédé Stretford, à l'exception du catalyseur de régénération qui est de l'acide naphthoquinone 1,4 sulfonique 2.	Carbonate sous vide	Le H_2S (mais aussi le HCN et le CO_2) sont enlevés du gaz de cokerie à l'aide d'une solution de carbonate de sodium ou de carbonate de potassium (Na_2CO_3 ou K_2CO_3). L'utilisation de potassium permet des concentrations de carbonate plus élevées. La liqueur de lavage est régénérée dans une colonne, à haute température et à basse pression (0,12 à 0,14 bar). Les gaz acides sont enlevés de la liqueur par strippage et peuvent être traités dans un atelier Claus de récupération du soufre ou dans une usine d'acide sulfurique.
Thylox	Le thioarséniate de sodium ($Na_4As_2S_5O_2$) lie le H_2S et la régénération est faite par traitement à l'oxygène. Il en résulte du soufre élémentaire.	Sulfiban	Le gaz de cokerie est lavé à l'aide de monoéthanolamine (MEA). Il est nécessaire d'enlever le NH_3 avant le H_2S afin d'éviter de polluer la liqueur de lavage. Le H_2S est séparé de la solution de MEA à l'aide d'une vapeur et peut être traité dans un atelier Claus de récupération du soufre ou dans une usine d'acide sulfurique. Les composés organiques soufrés insolubles sont enlevés de la solution de MEA sous forme de déchets solides.
Perox	Le gaz est lavé à l'aide d'une solution ammoniacale. On utilise du parabenzoquinone pour l'oxydation du soufre et la régénération de la liqueur de lavage est faite avec de l'oxygène.	DESULF	Pratiquement identique au procédé ASK, mais le NH_3 est enlevé des vapeurs de NH_3/H_2S dans des saturateurs, ce qui donne du sulfate d'ammonium $((NH_4)_2SO_4)$.
Fumaks/Rhodacs	Le H_2S est oxydé par de l'acide picrique dans la phase Fumaks, ce qui génère du soufre élémentaire. Les cyanures sont récupérés dans la phase Rhodacs.		

* ASK = Ammoniumsulfide Kreislaufwäscher

Tableau 6.11 : Procédés de désulfuration du gaz de cokerie et leurs caractéristiques – d’après [UN-ECE, 1990 ; EC Coke, 1996]

En Europe, le procédé le plus communément appliqué est le procédé par absorption qui emploie une liqueur ammoniacale pour enlever le H_2S du gaz de cokerie (procédé Carl Still, Diamex ou Ammoniumsulfide Kreislaufwäscher (ASK)). La Figure 6.15 présente un exemple récent du processus ASK.

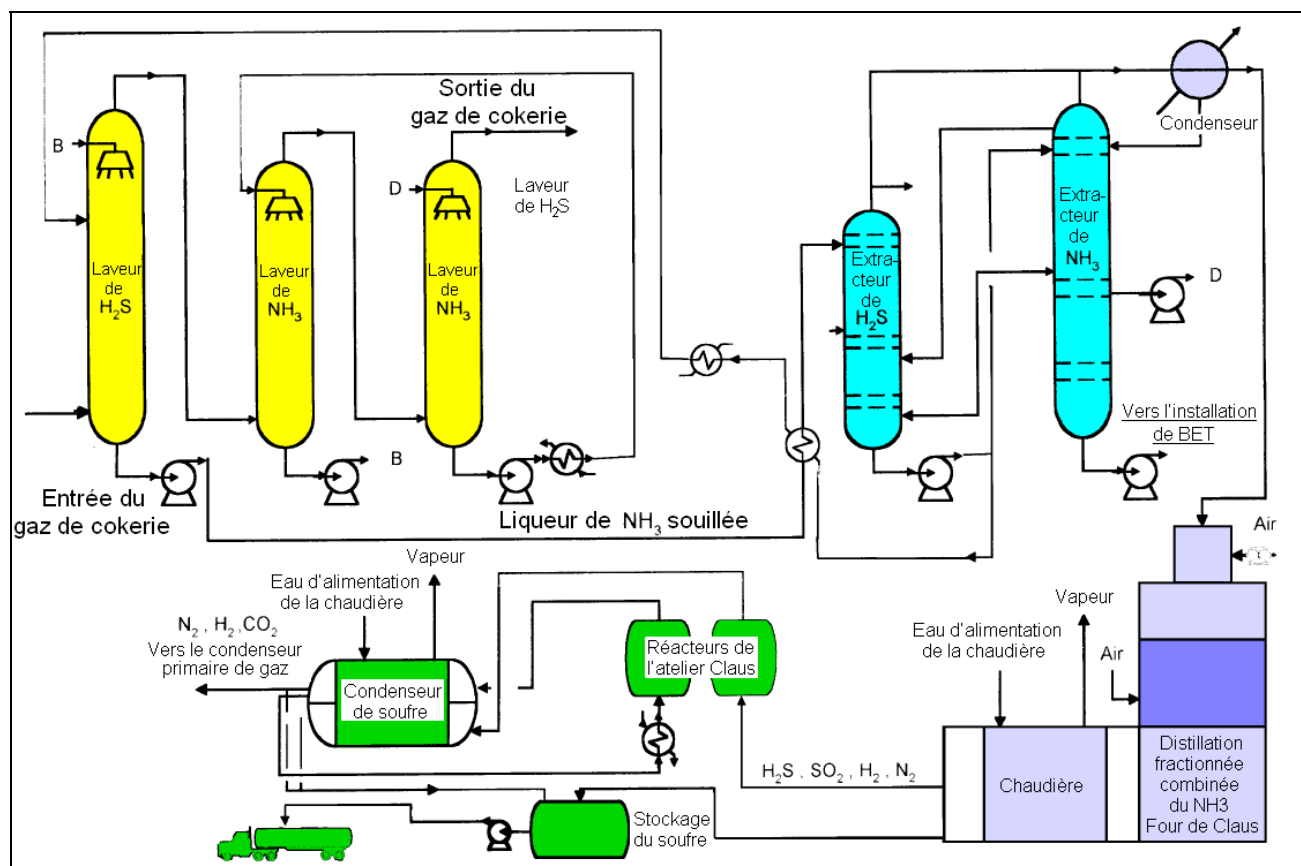


Figure 6.15 : Schéma opérationnel d’une installation de désulfuration du gaz de cokerie (procédé ASK) construite en 1997

Le procédé oxydatif par voie humide le plus communément appliqué est le procédé « Stretford ».

Il est applicable dans une large fourchette de capacités de désulfuration. Les capacités théoriques de désulfuration du gaz de cokerie connues s’étendent de 400 à 110 000 Nm^3/h .

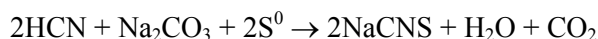
Applicabilité : Les deux types de procédés de désulfuration du gaz de cokerie (oxydation par voie humide et absorption) sont applicables aux installations existantes et nouvelles. Le choix dépend des caractéristiques techniques du gaz de cokerie nettoyé, des questions relatives à l’environnement, de l’intégration au sein de l’installation d’épuration du gaz etc.

Principaux niveaux d'émissions atteints : Les procédés oxydatifs par voie humide ont une meilleure efficacité en termes de désulfuration que les procédés par absorption. Grâce aux procédés oxydatifs par voie humide, il est possible d'atteindre une efficacité supérieure à 99,9 %, ce qui donne des concentrations résiduelles de H₂S dans le gaz de cokerie pouvant aller jusqu'à 1 mg/Nm³. Les procédés par absorption n'excèdent généralement pas une efficacité de désulfuration de 95 %, ce qui donne des concentrations résiduelles de H₂S dans le gaz de cokerie habituellement comprises entre 500 et 1 000 mg/Nm³.

Aucune des techniques disponibles ne permet de supprimer les composés organiques soufrés avec une grande efficacité. Dans la phase de nettoyage du gaz à basse pression, les composés organiques soufrés passent de 0,5 g/Nm³ à seulement 0,2 à 0,3 g/Nm³ [Eisenhut, 1988].

Installations de référence : Le Tableau 6.12 donne une vue d'ensemble des installations de référence (cette liste n'est pas exhaustive).

Effets croisés : Tout procédé oxydatif par voie humide utilisé pour désulfurer le gaz de cokerie enlèvera également la majeure partie du cyanure d'hydrogène du gaz de cokerie et formera du thiocyanure de sodium selon la réaction suivante :



Le thiocyanure de sodium et les petites quantités de sulfate et de thiosulfate de sodium formées au cours de réactions secondaires ne sont pas régénérés par le procédé et s'accumulent dans la liqueur en circulation.

Il est donc nécessaire d'évacuer une partie du liquide pour éviter le relargage des produits chimiques. Dans le cas du procédé Stretford, l'écoulement à évacuer contient des composés du vanadium, des composés de la quinone et des composés de l'hydroquinone (de l'ADA), du thiocyanure et du thiosulfate. Le déversement de ces composés est indésirable d'un point de vue environnemental et économique (pollution de l'eau et perte de produits chimiques onéreux).

Pour réduire la consommation de produits chimiques, l'acide cyanique (HCN) peut être enlevé avant la désulfuration dans un pré-laveur, à l'aide d'une solution de polysulfure de sodium ou d'ammonium. L'enlèvement préalable du HCN ne réduit pas le volume total d'effluents produits.

Aspects économiques : Le Tableau 6.13 donne une vue d'ensemble des données économiques relatives aux deux principaux procédés de désulfuration du gaz de cokerie en Europe (ASK et Stretford). [Rothery, 1987] rapporte qu'un accroissement de l'efficacité de la désulfuration de 95 à 99,9 % avec le procédé Stretford ne coûte que 10 % de plus. Pour ce procédé, les principaux éléments du coût d'exploitation sont les dépenses en capital et les produits chimiques (voir le Tableau 6.11). Le gaz de cokerie présentant des concentrations de HCN élevées (> 2 g/Nm³) exige des quantités relativement importantes de produits chimiques. Dans ce cas, il peut être rentable d'installer un dispositif de prélavage du HCN avant l'unité de traitement Stretford.

Documents de référence : [Rothery, 1987 ; InfoMil, 1997]

Procédé oxydatif par voie humide	
Stretford	Dofasco, Hamilton, Canada British Steel, Orgreave, Royaume Uni British Steel, Redcar, Royaume Uni Metarom, Roumanie Erdemir, Turquie Sollac, France Kobe Steel, usine de Kakogawa, Japon Posco, Corée
Takahax	Nippon Steel, usine de Yawata, Japon Nippon Steel, usine de Nagoya, Japon Nippon Steel, usine de Hirohata, Japon Nippon Steel, usine d'Oita, Japon Nippon Steel, usine de Muroran, Japon Nippon Kokan, usine de Fukuyama, Japon Nippon Kokan, usine de Keihin, Japon
Fumax	Nippon Steel, usine de Kimitsu, Japon Sumitomo Metal Industries, usine de Wakayama, Japon Sumitomo Metal Industries, usine de Kashima, Japon Kawasaki Steel, usine de Chiba, Japon
Thylox	Non disponible
Procédé par absorption	
Carl Still ou Diamex ou ASK	Prosper, Bottrop, Allemagne Thyssen Stahl, Duisburg, Allemagne Zentral Kokerei Saar, Dillingen, Allemagne Kawasaki Steel, usine de Mizushima, Japon Four à coke 2, Hoogovens IJmuiden, Pays-Bas Four à coke de Sidmar, Gent, Belgique
Carbonate sous vide	ACZ de Carbonisation, Sluiskil, Pays-Bas
Sulfiban	Four à coke 1, Hoogovens IJmuiden, Pays-Bas Nippon Kokan, usine de Keihin, Japon

Tableau 6.12 : Tableau des installations de référence pour les procédés de désulfuration du gaz de cokerie – [InfoMil, 1997]

Coûts et efficacité	Unité	Procédé Stretford	Procédé ASK	Carbonate sous vide
Efficacité de suppression du H ₂ S	[%]	95 – 99,5	90 – 97	> 90
Dépenses en capital	(1 x 10 ⁶ ECU ₁₉₉₆)	4,43 – 5,99	n.d.	19,3*
Frais d'exploitation	(ECU ₁₉₉₆ /1 000Nm ³ de gaz de cokerie)			
Produits chimiques		1,06 – 1,92	-	
Électricité		0,46 – 0,60	-	
Vapeur d'eau et eau		0,12	-	
Maintenance		0,25 – 0,30	-	
Main d'œuvre		0,36	-	
Dépenses en capital		2,25 – 3,04	-	1,90

Coûts bruts	4,49 – 5,61	n.d.	2,38
Crédit de soufre	0,33 – 0,57	n.d.	0,48
Coûts totaux nets	3,92 – 5,28	n.d.	1,90

* incluant les usines d'acide sulfurique et calculés pour un cas caractérisé par 30 000 Nm³/h et 6 g de H₂S/Nm³

Tableau 6.13 : Dépenses en capital et frais d'exploitation typiques pour la désulfuration de 45 000 Nm³/h de gaz de cokerie contenant 8 g/Nm³ de H₂S – [Rothery, 1987 ; InfoMil, 1997]

EP.8 Dégoudronnage (et suppression des HAP) de l'eau de charbon

Description : Les effluents de distillation de l'ammoniac ne contiennent normalement aucun goudron mais lorsque cela est le cas, ce goudron a un effet négatif sur le fonctionnement de l'installation d'épuration biologique des eaux usées. En particulier, la présence d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans le goudron peut s'avérer problématique dans la mesure où les HAP peuvent être toxiques pour les micro-organismes qui se trouvent dans les boues activées et parce qu'ils se dégradent difficilement. Il est donc recommandé d'enlever le goudron de l'eau de charbon avant le traitement biologique des eaux usées.

Le goudron peut être supprimé en ajoutant des produits chimiques de coagulation et en effectuant la séparation qui suit à l'aide d'une technique telle que :

- une sédimentation gravitationnelle suivie d'une filtration,
- une centrifugation de l'eau de charbon suivie d'une filtration,
- une flottation suivie d'une filtration.

Ce traitement retire la majeure partie du goudron des eaux usées sous la forme d'un résidu de filtration ou de boues très concentrés, qui devront être traités plus avant, par exemple en les recyclant dans les fours à coke.

Une autre méthode de suppression du goudron des eaux usées consiste à utiliser un filtre à vide rotatif préalablement tapissé de farine de bois. Ce système sert à diminuer les concentrations de HAP dans l'eau de charbon avant le traitement biologique. Toutefois, le filtre de farine de bois, qui avait été installé à Hoogovens IJmuiden, IJmuiden (Pays-Bas), a été remplacé en 1998 par une filtration sur sable dont l'efficacité en matière de suppression des HAP est comparable.

Applicabilité : Le dégoudronnage avant le traitement des eaux usées est applicable aux anciennes installations comme aux nouvelles.

Principaux niveaux d'émissions atteints : Les concentrations des effluents qui sortent du filtre de farine de bois sont comprises entre 700 et 800 µg/l (EPA-HAP) avec une efficacité de suppression de 99 %. Les émissions après traitement biologique sont très fortement réduites. Ceci correspondrait à une émission d'EPA-HAP après traitement biologique de 150µg/l dans les effluents. La farine de bois chargée d'HAP est recyclée dans le four à coke.

Installations de référence :

Sédimentation et filtration : ACZ de Carbonisation, Sluiskil, Pays-Bas

Filtre de farine de bois : four à coke, Hoogovens IJmuiden, IJmuiden, Pays-Bas

Effets croisés : Toutes ces techniques de suppression du goudron génèrent des déchets. Toutefois, ces déchets chargés de goudron peuvent être recyclés dans les fours à coke.

Données opérationnelles : Non disponibles.

Aspects économiques : Non disponibles.

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

EP.9 Colonne de strippage

Description : Le maintien de la concentration de l'ammoniac dans la colonne de strippage et dans les effluents de distillation à un niveau faiblement élevé est bénéfique pour le fonctionnement d'une installation d'épuration biologique des eaux usées. L'efficacité de suppression dépend fortement de l'ajout d'alcalins et de vapeur ainsi que de la conception de la colonne de strippage (c'est-à-dire du nombre de plateaux). Une augmentation de la dose de NaOH et du nombre de plateaux peut réduire de manière significative la concentration des effluents en ammoniac.

Lorsque le traitement des effluents de l'installation implique une nitrification et une dénitrification successives, le strippage de l'ammoniac des effluents est moins critique. Dans ce cas, il faut trouver un juste équilibre économique et environnemental entre le strippage de l'ammoniac et sa suppression dans l'installation d'épuration biologique des eaux usées.

Applicabilité : Cette mesure est applicable aux installations existantes aussi bien qu'aux nouvelles.

Principaux niveaux d'émissions atteints : Les concentrations d'ammoniac dans les effluents peuvent varier entre 20 et 150 mg/l, selon le dosage de vapeur et d'alcalins et la configuration de la colonne. Il est possible d'atteindre des valeurs comprises entre 20 et 40 mg/l mais elles ne sont pas nécessairement requises si l'on recherche un équilibre convenable du rapport $\text{DBO}_5/\text{P/N}$ dans les eaux usées avant le traitement biologique.

Exploitations de référence : Dans le monde entier, presque toutes les cokeries sont équipées d'une colonne de strippage.

Effets croisés : Les colonnes de strippage consomment de l'énergie sous forme de vapeur (0,1 à 0,2 t de vapeur/m³ d'eaux usées) et des alcalins (NaOH : 6 à 22 l/m³). Auparavant, on utilisait de la chaux à la place du NaOH. Si l'on augmente les doses de vapeur et d'alcalins, on diminue les concentrations en NH_3 des effluents. En outre, ce processus génère une vapeur chargée d'ammoniac (et de H_2S) qui doit être traitée, par exemple dans une usine d'acide sulfurique, un atelier Claus de récupération du soufre ou dans des unités de cristallisation de sulfate d'ammonium.

Données opérationnelles : Non disponibles.

Aspects économiques :

Colonne de strippage traitant 150 m³ d'effluents par heure

Investissement : 0,75 à 0,9 millions ECU₁₉₉₆ en 1993 pour les colonnes

Frais d'exploitation : 0,18 ECU₁₉₉₆/m³ en 1993

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

EP.10 Étanchéisation de l'installation de traitement du gaz

Description : Dans l'installation de traitement des gaz, le gaz de cokerie brut est épuré en plusieurs étapes afin d'être utilisé comme combustible par la suite. Le caractère relativement volatil des composés du gaz de cokerie brut signifie que des émissions peuvent se produire dans les brides de tuyauterie, les clapets de refoulement, les pompes etc. Outre les effets néfastes pour l'environnement, les questions de sécurité sur le lieu de travail sont également cruciales dans la mesure où certains des composés du gaz de cokerie sont des agents cancérogènes reconnus (les HAP et le benzène, par ex.). A cet égard, le dispositif de récupération du BTX intégré à l'installation de traitement du gaz de cokerie est particulièrement important. Dans ce dispositif, le BTX (principalement constitué de benzène, toluène et xylènes) est séparé du gaz de cokerie au moyen d'un liquide de lavage. Par la suite, ce liquide chargé est régénéré et le BTX est récupéré pour être vendu.

L'exploitation en toute étanchéité d'une installation de traitement des gaz est essentiellement une question de sécurité.

Toutes les mesures permettant une exploitation de l'installation de traitement des gaz dans des conditions de quasi-étanchéité doivent être envisagées :

- Minimiser le nombre de brides en soudant les conduites partout où cela est possible ;
- Utiliser des pompes étanches (pompes magnétiques ou intégrales, par ex.) ;
- Éviter les émissions issues des soupapes de refoulement des réservoirs de stockage. On obtient ce résultat la plupart du temps en raccordant la soupape d'échappement au collecteur principal du gaz de cokerie (la collecte des gaz et la combustion ultérieure – ou la couverture de gaz ou des Venturi – sont également possibles).

Applicabilité : Cette mesure est applicable à la fois aux installations existantes et aux nouvelles. Dans ces dernières, il sera probablement plus facile de concevoir des équipements étanches que dans les installations existantes.

Installations de référence : Voest Alpine Stahl AG, Linz (Autriche), Hoogovens IJmuiden, IJmuiden (Pays-Bas) et Sidmar, Gent (Belgique) exploitent des installations de traitement des gaz quasiment étanches pour le traitement du gaz de cokerie.

Effets croisés : Pas d'effets croisés.

Données opérationnelles : Non disponibles.

Aspects économiques : Non disponibles. Cette mesure fait partie de la conception de l'installation.

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

EP.11 Installation d'épuration des eaux usées

Description : Les eaux usées émises par une cokerie contiennent un mélange d'hydrocarbures, de composés cyanurés et de composés azotés dans des concentrations relativement élevées. Il existe plusieurs méthodes pour traiter ces eaux usées. Dans tous les cas, elles commencent par traverser une colonne de strippage avant tout traitement supplémentaire (voir le paragraphe 6.2.3.1.2).

Les eaux usées peuvent être épurées selon des procédés biologiques et chimiques. Lorsque l'on applique un traitement biologique, le dégoudronnage se fait généralement par le biais d'une méthode chimique/physique (voir EP.9) et les eaux usées sont souvent diluées afin d'éviter que l'influent n'ait des effets toxiques sur les micro-organismes, en particulier une inhibition des bactéries nitrifiantes.

La technique biologique la plus communément appliquée pour le traitement des eaux usées des fours à coke est le dispositif biologique aérobie avec boues activées. Dans certains cas, on a fait particulièrement attention à la nitrification et à la dénitrification (anoxique).

Dans certains cas, on a recours à un dispositif biologique qui repose sur un lit fluidisé pour épurer les eaux usées. Au Royaume-Uni, il existe une installation dans laquelle les eaux usées sont traitées dans des roselières.

a. Dispositif aérobie avec boues activées:

Description : dans le dispositif aérobie avec boues activées, les polluants biodégradables sont dégradés de manière principalement biologique en CO₂, H₂O et produits minéraux, et les composés non-dégradables et non-polaires (comme la plupart des HAP et des métaux lourds) sont enlevés de la phase aqueuse par une adsorption partielle dans les boues activées.

Dans la pratique, la plupart des polluants potentiellement dangereux, tels que les phénols, les cyanures et les hydrocarbures aromatiques subissent une dégradation biologique et les métaux lourds sont partiellement enlevés par adsorption dans les boues activées.

Les systèmes dont les boues activées présentent un rapport nourriture/micro-organismes (N/M) faible sont préférables d'un point de vue environnemental. Un ratio N/M peu élevé permet également la biodégradation de composés organiques fortement biodégradables. Le ratio N/M est le rapport entre la matière organique et les boues activées (sous la forme de matières solides en suspension dans la liqueur mixte – MSSLM), il est exprimé en « kg de DCO/kg de MSSLM/j », où la DCO est la demande chimique en oxygène.

En ce qui concerne l'aération, il est possible d'utiliser de l'oxygène à la place de l'air ambiant. Cela augmente le contrôle du processus et réduit le « strippage » des composés volatils qui se trouvent dans les eaux usées. Par exemple, l'insufflation d'oxygène est utilisée par les cokeries d'ACZC à Sluiskil (Pays-Bas) et de Sidmar à Gent (Belgique).

Principaux niveaux d'émissions atteints : Le Tableau 6.14 donne les valeurs obtenues grâce aux dispositifs aérobies avec boues activées dans les cokeries européennes.

Composé	Concentration	Unité	Valeur des émissions spécifiques	Unité
DCO	140 – 700	[mg/l]	0,2 – 1	[kg/t de coke]
N-Kjeldahl	20 – 120	[mg/l]	0,01 – 0,1	[kg/t de coke]
NH ₃	< 1 – 100	[mg/l]	0 – 0,1	[kg/t de coke]
SCN ⁻	< 0,1 – 35	[mg/l]	0 – 0,05	[kg/t de coke]
Phénol	< 0,1 – 10	[mg/l]	0 – 0,005	[kg/t de coke]

HAP	0,003 – 0,2	[mg/l]	0 – 0,001	[kg/t de coke]
-----	-------------	--------	-----------	----------------

Tableau 6.14 : Concentrations des effluents et émissions spécifiques des cokeries européennes utilisant un système de traitement aérobique des eaux usées avec boues activées (avec un ratio N/M élevé ou peu élevé) – [EC Coke, 1996]

b. Concept de nitrification

Description : Certaines installations d'épuration des eaux usées sont conçues pour enlever efficacement l'ammonium (NH_4^+) à l'aide d'une nitrification. Le concept classique d'un dispositif aérobique avec boues activées peut servir de point de départ pour ce type d'installations. Ce système doit avoir un ratio N/M très bas et un fort taux de recirculation pour éviter le lessivage des bactéries nitrifiantes à croissance lente. Celles-ci transforment l'ammonium en nitrate (NO_3^-). Dans ces conditions, les composés organiques fortement biodégradables peuvent également être minéralisés avec une grande efficacité de suppression.

Principaux niveaux d'émissions atteints : En règle générale, les systèmes qui ont une faible charge spécifique ont de meilleurs résultats et permettent la dégradation de l'ammoniac par nitrification. Une faible charge spécifique améliore également la dégradation des composés organiques à faible taux de dégradation. Si l'on applique une « nitrification », les concentrations des effluents en nitrates (NO_3^-) seront relativement élevées (de l'ordre de 200 mg/l).

Installations de référence : Les mêmes installations de traitement des effluents qui ont été mentionnées en « c » (concept de nitrification-dénitrification).

c. Concept de nitrification-dénitrification

Description : Dans certains cas, les autorités locales exigent que les rejets de tous les composés azotés (y compris des nitrates) des effluents soient faibles, ce qui nécessite un traitement anoxique supplémentaire des eaux usées. Plusieurs configurations d'installations sont possibles, mais le concept connu sous le nom de pré-dénitrification-nitrification (pré-DN/N) a donné de bons résultats.

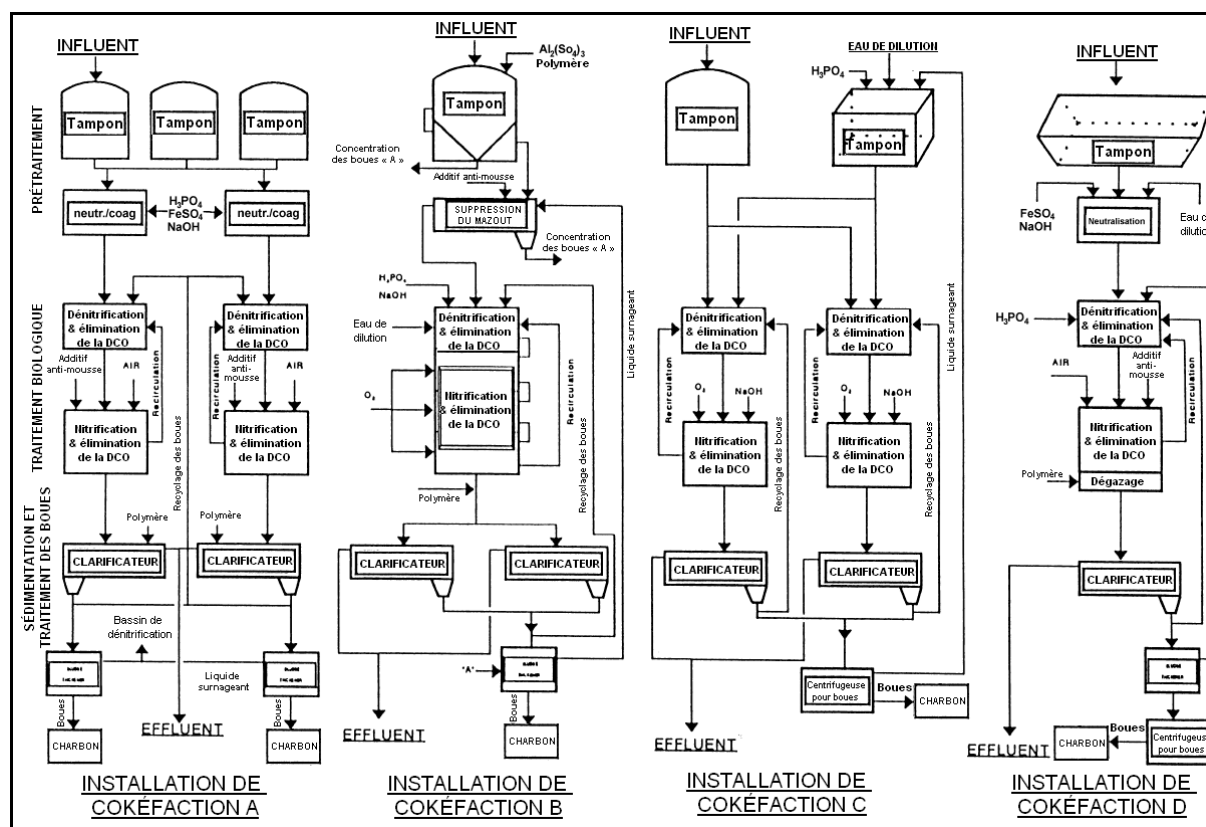
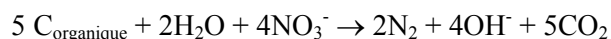


Figure 6.16 : Schémas de quatre installations différentes de traitement des eaux usées émises par les fours à coke, avec nitrification-dénitrification – [Löhr, 1996]

Installation A : cokerie de Kaiserstuhl, Dortmund (Allemagne) ; Installation B : cokerie de Sidmar, Gent (Belgique), Installation C : cokerie d'ACZC (Pays-Bas) ; Installation D : cokerie de Serémange (France)

Le système pré-DN/N utilise le principe aérobie avec boues activées comme point de départ. Toutefois, avant que les eaux usées ne soient aérées, on y ajoute l'eau riche en nitrates de l'étape de nitrification. Dans des conditions anoxiques, les bactéries utilisent les nitrates comme accepteur d'électron final à la place de l'oxygène moléculaire (O_2). L'azote est émis sous forme moléculaire (N_2). La réaction générale est la suivante :



Principaux niveaux d'émissions atteints : Les dispositifs de nitrification-dénitrification ont un ratio N/M très bas (0,05 à 0,2 kg de DCO/kg de MSSLM/j) et ont d'excellents résultats en ce qui concerne l'épuration des eaux usées issues des fours à coke. Les émissions d'azote libérées par ce procédé sont particulièrement faibles par rapport à celles des systèmes dont le ratio N/M est élevé ou par rapport à celles de la nitrification seule. Les concentrations dans les influents et les effluents de quatre de ces installations sont données dans le Tableau 6.15.

Caractéristique / composé	Unité	Sidmar	Serémange	Kaiserstuh l	ACZC
Production de coke	[Mt/a]	1,180	0,630	2,0	0,605
Flux d'eau de charbon	[m ³ /h]	42	16	71	20
Dilution	[m ³ /h]	40	5	(15)***	40
Flux total	[m ³ /h]	86	30	72	59
Flux d'effluents spécifiques	[m ³ /t de coke]	0,59	0,31	0,38	0,86

Ratio nourriture/micro-organismes (N/M)	kg de DCO/kg de MSSLM/j	≤ 0,15	n.d	≤ 0,15	0,17
Influent					
pH	-	n.d.	n.d.	9,5	9,3
Matières en suspension	[mg/l]	30-40	n.d.	< 10	n.d.
DCO (x ± s)	[mg/l]	3650 ± 310	4450 ± 460	2250 ± 590	3600 ± 500
DBO ₅	[mg/l]	2100	n.d.	1340	n.d.
Phénol	[mg/l]	964	1000	350	900
SCN ⁻	[mg/l]	355	380	200-250	72,5**
N-Kjeldahl	[mg/l]	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ammoniac (x ± s)	[mg/l]	83 ± 61	82 ± 105	43 ± 30	25 ± 15
Nitrite	[mg/l]	n.d.	n.d.	-	n.d.
Nitrate	[mg/l]	n.d.	n.d.	-	n.d.
Mazout et goudron	[mg/l]	40	n.d.	n.d.	n.d.
HAP (6 de Borneff)	[µg/l]	200	n.d.	106	n.d.
Effluent					
pH	-	n.d.	n.d.	7,8	7,04
Matières en suspension	[mg/l]	42	n.d.	43	28,6
DCO (x ± s)	[mg/l]	189 ± 30	486 ± 315	228 ± 48	117 ± 29
DBO ₅ (x ± s)	[mg/l]	19 ± 2,8	19 ± ?	4 ± 32	5,4 ± 1,9
Phénol	[mg/l]	0,06	< 2	0,16	0,1
SCN ⁻	[mg/l]	3	< 4	n.d.	0,9
N-Kjeldahl	[mg/l]	n.d.	n.d.	n.d.	7
Ammoniac (x ± s)	[mg/l]	0,7 ± 0,8	32 ± 53	1,3 ± 0,2	0,05 ± 0,6
Nitrite	[mg/l]	3	0	0,21	1,0
Nitrate	[mg/l]	65	0*	15,0	48,1
Mazout et goudron	[mg/l]	5	n.d.	n.d.	n.d.
HAP (6 de Borneff)	[µg/l]	< 50	n.d.	11,7	2,7

n.d. : non disponible ; (x ± s) : moyenne arithmétique ± écart-type

* Lorfonde donne cette valeur, bien qu'elle soit impossible en théorie ; une teneur en ammoniac résiduel élevée et une concentration en nitrate négligeable indiquent une inhibition de la nitrification

** ACZC a signalé que cette valeur pourrait être trop basse, du fait de la méthode d'échantillonnage utilisée

*** eau de pluie, qui n'est donc pas ajoutée de manière continue [Löhr, 1997]

Tableau 6.15 : Concentrations dans les influents et effluents et certaines caractéristiques des procédés d'épuration des eaux usées avec pré-DN/N – [InfoMil, 1997 ; Löhr, 1996 ; Löhr, 1997]

Installations de référence : Des installations d'épuration des eaux usées provenant des fours à coke avec dispositif de pré-DN/N ont été construites au Royaume Uni (British Steel Corp., à Scunthorpe et Orgreave), en Belgique (Sidmar à Gent), en France (Lorfonde Serémange), en Allemagne (Ruhrkohle AG Kaiserstuhl à Dortmund) et aux Pays-Bas (ACZC à Sluiskil). Voir la Figure 6.16.

Effets croisés : La consommation énergétique de l'installation d'ACZC est de 0,008 GJ/t de coke.

Aspects économiques :

Investissement : 0,6 million d'ECU₁₉₉₆ en 1994 pour l'évolution d'un dispositif de nitrification en un système de pré-DN/N. L'investissement total est de 4,6 millions d'ECU₁₉₉₆.

Frais d'exploitation : 345 000 ECU₁₉₉₆ par an (0,57 écu₁₉₉₆/t de coke), incluant les prélèvements relatifs aux eaux usées.

Documents de référence : [EC Coke, 1996 ; InfoMil, 1997 ; Löhr, 1996 ; Löhr, 1997]

6.4 Conclusions

Pour mieux comprendre l'objet et le contenu de ce chapitre, le lecteur prêter une attention particulière à la préface du présent document, notamment à la cinquième section de la préface, intitulée « Compréhension et utilisation du présent document ». Les techniques et niveaux (ou plages de niveaux) d'émissions et/ou de consommations correspondants présentés dans cette section ont été évalués selon une démarche itérative comprenant les étapes suivantes :

- identification des principaux aspects environnementaux propres au secteur, à savoir, dans le contexte des cokeries : la prévention des émissions fugitives, du traitement du gaz de cokerie et de l'épuration des eaux usées, en particulier pour ce qui est de l'ammoniac ;
- analyse des techniques les plus à même de traiter ces aspects-clés ;
- identification des niveaux de performances les plus adaptés en s'appuyant sur les données disponibles dans l'Union européenne et dans le reste du monde ;
- étude des conditions dans lesquelles ces niveaux de performances ont été atteints (coûts, effets croisés, principaux enjeux à l'origine de la mise en œuvre de ces techniques) ;
- choix des meilleures techniques disponibles (MTD) et des niveaux d'émissions et/ou de consommations correspondants pour ce secteur, au sens large de l'Article 2(11) et de l'Annexe IV de la Directive.

Le jugement expert du Bureau européen de l'IPPC et du Groupe de travail technique (GTT) formé pour traiter ces questions a joué un rôle essentiel lors de chacune de ces étapes et a déterminé la façon dont les informations sont ici présentées.

D'après cette évaluation, ce chapitre présente les techniques et, dans la mesure du possible, les niveaux d'émissions et de consommations associés à la mise en application des MTD ; celles-ci sont considérées comme adaptées au secteur dans son ensemble et reflètent souvent les performances actuelles de certaines installations du secteur. Lorsque les niveaux d'émissions et de consommations « associés aux meilleures techniques disponibles » sont présentés, cela signifie que ces niveaux représentent les performances environnementales auxquelles on peut s'attendre suite à l'application, dans ce secteur, des techniques décrites, sans perdre de vue l'équilibre coûts/bénéfices inhérent à la définition des MTD. Ces niveaux ne constituent en aucun cas des valeurs-limites d'émissions ni de consommations ; ils ne doivent donc pas être interprétés comme tels. Dans certains cas, il peut être techniquement possible de parvenir à de meilleurs niveaux d'émissions et de consommations mais, du fait des coûts ou des effets croisés qu'elles induisent, les techniques alors appliquées ne sont pas considérées comme MTD pour le secteur dans son ensemble. Ces niveaux peuvent toutefois trouver leur justification dans certains cas spécifiques caractérisés par des enjeux particuliers.

Les niveaux d'émissions et de consommations associés à l'utilisation des MTD doivent être considérés parallèlement à d'éventuelles conditions de référence spécifiées (périodes prises en compte pour établir les moyennes, par ex.).

Le concept de « niveaux associés aux MTD » décrit ci-dessus doit être distingué du terme « niveau réalisable » utilisé dans une autre section du présent document. Lorsqu'un niveau est dit « réalisable » au moyen d'une technique ou d'une combinaison de techniques particulière, cela signifie que l'on peut

s'attendre à ce que ce niveau soit atteint à long terme dans une installation entretenue et exploitée de façon adéquate ou par un procédé reposant sur ces techniques.

Lorsqu'elles sont disponibles, les données relatives aux coûts sont présentées avec la description des techniques abordées dans la section précédente. Ces données fournissent une estimation de l'ampleur des coûts induits. Toutefois le coût réel de mise en œuvre d'une technique dépend largement de la situation spécifique, notamment de la fiscalité, des tarifs et des caractéristiques techniques de l'installation concernée. Le présent document n'est pas en mesure d'évaluer pleinement ce type de facteurs spécifiques au site. En l'absence de données concernant les coûts, les observations effectuées sur les installations existantes permettent de formuler des conclusions sur la viabilité économique des différentes techniques.

Les MTD générales sont censées constituer un point de référence permettant d'apprécier les performances actuelles d'une installation existante ou d'évaluer un projet concernant une installation nouvelle. Elles faciliteront ainsi la détermination des conditions de fonctionnement « incluant les MTD » adéquates pour l'installation ou la définition de règles générales de nature contraignante conformément à l'Article 9(8). On pense que les installations nouvelles peuvent être conçues de façon à atteindre, voire dépasser, les performances associées aux MTD en termes de niveaux d'émissions et de consommations. On considère également que les installations existantes peuvent évoluer vers les niveaux associés aux MTD générales, voire plus loin, dès lors que ces techniques sont applicables, dans chaque cas, sur les plans technique et économique.

Bien que les BREF n'aient pas pour fonction de définir des normes contraignantes, ils sont censés fournir des informations aux industriels, aux États membres et au public concernant les niveaux d'émissions et de consommations réalisables à l'aide des techniques spécifiées. Les valeurs-limites adaptées aux cas spécifiques devront être déterminées selon les objectifs de la Directive IPPC et les aspects locaux.

En ce qui concerne les cokeries, les techniques ou combinaisons de techniques suivantes sont considérées comme des MTD. La hiérarchisation et le choix des techniques différeront selon les circonstances locales. On peut également envisager toute autre technique ou combinaison de techniques permettant d'atteindre ou de dépasser ce niveau de performance ou d'efficacité ; ces techniques peuvent être en cours de mise au point, émergentes ou déjà disponibles mais non mentionnées ou décrites dans le présent document.

1. Généralités :

- Maintenance complète des chambres du four, des portes et des joints d'étanchéité, des colonnes montantes, des bouches d'enfournement et des autres équipements (programme systématique appliqué par un personnel de maintenance spécialement formé) ;
- Nettoyage des portes, des joints d'étanchéité, des bouches d'enfournement, des couvercles et des colonnes montantes après manutention ;
- Maintien d'une libre circulation des gaz dans les fours à coke.

2. Chargement :

- Chargement à l'aide d'enfourneuses.

Du point de vue de l'intégration, les processus privilégiés sont le chargement « sans fumée » ou le chargement séquentiel avec double colonne montante ou conduites de raccordement, car les gaz et les particules entrent alors tous dans le processus de traitement du gaz de cokerie. En revanche, lorsque les gaz sont extraits et traités à l'extérieur du four à coke, la méthode préférée est le chargement avec traitement au sol des gaz extraits. Le traitement devrait consister en une

évacuation efficace suivie d'une combustion et d'une filtration sur tissu. Des émissions de particules inférieures à 5 g/t de coke sont réalisables.

3. Cokéfaction :

Une combinaison des mesures suivantes :

- Fonctionnement régulier et sans perturbation du four à coke en évitant les fortes variations de température ;
- Utilisation de portes à joints flexibles munies de ressorts ou de portes en lames de couteau (dans le cas des fours de hauteur ≤ 5 mètres avec une bonne maintenance), permettant d'obtenir les résultats suivants :
moins de 5 % d'émissions visibles (fréquence de toutes les fuites par rapport au nombre total de portes) passant à travers toutes les portes des nouvelles cokeries, *et*
moins de 10 % d'émissions visibles passant à travers toutes les portes des cokeries existantes ;
- Colonnes montantes à étanchéisation hydraulique, permettant de réduire à moins de 1 % les émissions visibles (fréquence de toutes les fuites par rapport au nombre total de colonnes montantes) s'échappant de toutes les colonnes ;
- Lutage des bouches d'enfournement au moyen d'une suspension argileuse (ou d'un autre matériau d'étanchéité adéquat), permettant de réduire à moins de 1 % les émissions visibles (fréquence de toutes les fuites par rapport au nombre total d'orifices) provenant de l'ensemble des orifices ;
- Portes de repalage équipées d'une garniture d'étanchéité permettant de réduire à moins de 5 % les émissions visibles.

4. Cuisson :

- Utilisation de gaz de cokerie désulfuré ;
- Prévention des fuites entre la chambre du four et le piédroit grâce à un fonctionnement régulier du four à coke ; *et*
- Réparation des fuites entre la chambre du four et le piédroit ; *et*
- Intégration de techniques faiblement émettrices de NOx dans la construction de nouvelles batteries, telles que la combustion par étage (émissions de l'ordre de 450 à 700 g/t de coke et de 500 à 770 mg/Nm3 réalisables respectivement dans les installations nouvelles et modernes) ;
- En raison de son coût élevé, la dénitrification des gaz de combustion (par RCS – réduction catalytique sélective – par exemple) n'est pas appliquée, excepté dans les nouvelles installations, lorsque les normes de qualité de l'environnement risquent de ne pas être respectées.

5. Défournement :

- Extraction avec hotte (intégrée) sur la machine de transfert du coke, traitement au sol des gaz extraits au moyen de filtres en tissu et utilisation d'un wagon d'extinction à un point pour réduire les émissions de particules à moins de 5 g/t de coke (émissions par les cheminées).

6. Extinction :

- Extinction par voie humide avec minimisation des émissions de particules à moins de 50 g/t de coke (détermination par la méthode VDI). L'emploi des eaux de processus à forte charge organique (eaux usées des fours à coke brut, eaux usées à forte teneur en hydrocarbures, etc.) comme eau d'extinction est à éviter.
- Extinction du coke à sec (CDQ) avec récupération de la chaleur sensible et évacuation des poussières résultant des opérations de chargement, de manutention et de criblage grâce à une filtration sur tissu. Etant donnés les prix actuels de l'énergie dans l'UE, la prise en considération du rapport « coût opérationnel / avantage environnemental » limite très fortement l'applicabilité de l'extinction à sec. Il faut en outre que l'énergie récupérée trouve une utilisation.

7. Désulfuration du gaz de cokerie :

- Désulfuration grâce à des systèmes par absorption (teneur en H_2S du gaz au niveau de la grille de sortie comprise entre 500 et 1 000 mg de H_2S/Nm^3), *ou*
 - Désulfuration oxydative (teneur inférieure à 500 mg H_2S/Nm^3),
- A condition de fortement réduire les effets croisés des composés toxiques.

8. Étanchéisation de l'installation de traitement du gaz :

Toutes les mesures permettant une exploitation de l'installation de traitement des gaz dans des conditions de quasi-étanchéité doivent être envisagées :

- Minimiser le nombre de brides en soudant les connexions des conduites partout où cela est possible ;
- Utiliser des pompes étanches (pompes magnétiques, par exemple) ;
- Éviter les émissions qui proviennent des valves de refoulement des réservoirs de stockage en raccordant la sortie de la valve au collecteur principal de gaz de cokerie (ou en captant les gaz puis en les brûlant).

9. Prétraitement des eaux usées :

- Stripping efficace de l'ammoniac à l'aide d'alcalis. L'efficacité de cette opération doit être liée au traitement ultérieur des eaux usées. Il est possible d'atteindre des concentrations de 20 mg/l de NH_3 dans l'effluent de stripping ;
- Dégoudronnage.

10. Traitement des eaux usées :

Épuration biologique des eaux usées avec nitrification/dénitrification intégrées, ce qui permet d'obtenir les résultats suivants :

- suppression de la DCO : $> \text{à } 90 \%$
- sulfures : $< \text{à } 0,1 \text{ mg/l}$

- HAP (6 de Borneff) : < à 0,05 mg/l
- CN^- : < à 0,1 mg/l
- phénols : < à 0,5 mg/l
- somme de NH_4^+ , NO_3^- et NO_2^- : < à 30 mg/l
- matières en suspension : < à 40 mg/l

Ces concentrations sont basées sur un flux spécifique d'eaux usées de 0,4 m³/t de coke.

En principe, compte tenu de la préface, les techniques mentionnées dans les points 1 à 10 sont applicables aussi bien aux nouvelles installations qu'aux installations existantes, à l'exception des techniques à faibles émissions de NO_x (pour les nouvelles installations seulement).

6.5 Techniques émergentes et évolutions futures

La substitution d'une partie du coke par du mazout et, plus récemment, par du charbon pulvérisé dans le haut fourneau, a joué un rôle primordial dans la réduction des coûts de combustible. L'injection de charbon pulvérisé représente désormais un niveau d'environ 180 kg/t de fonte brute, pour une consommation résiduelle de coke de 300 kg/t de fonte brute. Le seuil maximal théorique d'injection de charbon dans le haut fourneau est d'environ 270 kg/t de fonte brute, pour une consommation résiduelle de coke de 220 kg/t de fonte brute. Cela est dû à la capacité de charge du coke et aux conditions thermochimiques dans le haut fourneau. Il est possible d'injecter des proportions de coke plus élevées.

Hormis les économies de combustible qu'elle permet de réaliser, l'injection de charbon a un effet positif sur l'environnement du fait de la réduction de la consommation de coke et, par conséquent, des émissions issues des cokeries. Pour un taux d'injection du charbon de 180kg/t de fonte brute – qui est déjà atteint dans de nombreuses installations – on consomme près de 30 % de coke en moins. On s'attend à ce que la proportion de charbon injecté poursuive son augmentation dans les années à venir.

Par ailleurs, plusieurs nouvelles techniques de fabrication du fer sont en cours d'élaboration, et l'une d'entre elles est déjà disponible pour une exploitation commerciale (Corex). Ces nouvelles techniques de production du fer utilisent le charbon comme combustible au lieu du coke. On s'attend à ce que, dans les 25 à 50 prochaines années, ces nouvelles techniques remplacent les hauts fourneaux, ce qui rendra les cokeries métallurgiques superflues. Les nouvelles techniques de production du fer sont abordées dans le Chapitre 10 « Techniques alternatives de production du fer ».

Néanmoins, les recherches se poursuivent pour diminuer les émissions en provenance des cokeries existantes. De nouveaux concepts d'installations qui libèrent des émissions réduites et/ou ont une meilleure efficacité énergétique sont appliqués (voir PI.9 « Cokéfaction sans récupération ») ou à l'étude (« four à coke Jumbo »). Comme les fours à coke de type Jumbo ne sont pas encore disponibles à l'échelle commerciale, une description en est donnée ci-dessous.

Système à chambre unique (SCS)

Description : Les réacteurs de cuisson à chambre unique SCS (autrefois appelés JCR) sont des fours à coke de grand volume, dont les largeurs sont comprises entre 450 et 850 mm. Le processus intègre l'utilisation de charbon préchauffé. Les réacteurs sont des modules contrôlés par un processus distinct équipés de murs de chauffage rigides et résistant à la pression qui peuvent absorber la forte pression de la cokéfaction. A terme, on s'attend à ce que les fours à coke SCS remplacent les batteries multi-chambres actuelles dont les murs ont une flexibilité limitée. Selon les informations disponibles, ce système présente les avantages suivants :

- Il permet d'utiliser une vaste gamme de charbons à coke (en termes de valeurs des matières volatiles) ;
- Il est plus facile de respecter le programme de révision du four, ce qui permet un meilleur contrôle des températures ;
- Selon la largeur de la chambre, le nombre d'orifices est réduit – de même que le nombre de sources d'émissions ;

- Selon la largeur de la chambre, le nombre d'actions d'ouverture du four est réduit (par exemple 55 à 102 défournements/j pour une largeur de chambre comprise entre 850 et 450 mm, à comparer avec 115 déchargements/j pour l'installation de Kaiserstuhl) ;
- L'efficacité thermique est améliorée et passe de 38 à 70 %
- Les portes ne laissent passer pratiquement aucune émission, elles disposent de trois niveaux d'étanchéisation.

Résultats : Les études sur l'optimisation économique du système dans son ensemble ont révélé que des installations de cokéfaction à réacteur unique ayant la même capacité que la cokerie moderne de Kaiserstuhl, exigeaient à peu près le même investissement, sous réserve que la largeur de la chambre passe de 850 à 450 mm.

Documents de référence : [Nashan, 1997 EC Coke, 1993]

Désulfuration par voie humide à haute performance du gaz de cokerie

Description : Les procédés de désulfuration oxydative par voie humide sont généralement plus efficaces pour la désulfuration du gaz de cokerie brut que les procédés par absorption/stripping. Toutefois, l'un des inconvénients des procédés oxydatifs par voie humide est qu'ils utilisent (et émettent) des produits chimiques extrêmement toxiques.

Il est possible d'accroître l'efficacité de suppression des procédés par absorption grâce à un lavage à l'aide d'une solution de soude caustique (NaOH), pulvérisée sous forme de brume sous pression dans le flux de gaz brut.

Principaux résultats attendus : On s'attend à ce qu'il soit possible d'atteindre une teneur en soufre du gaz au niveau de la grille de sortie de 0,1 mg/Nm³.

Statut : Inconnu.

7 HAUTS FOURNEAUX

7.1 Procédés mis en œuvre

Le haut fourneau au coke, utilisé pour la première fois en 1735 [Ullmann's, 1994], est de loin le procédé de production de fonte brute le plus courant et devrait le demeurer dans les 20 prochaines années [Lüngen, 1995]. La figure 7.1 montre une vue d'ensemble de deux hauts fourneaux.



Figure 7.1: Vue d'ensemble de deux hauts fourneaux comprenant chacun trois cowpers et de la cheminée d'acheminement des gaz résiduels provenant des cowpers

Le haut fourneau est un système fermé. Le four est constamment rechargé au niveau du gueulard (sommet du fourneau) en matériaux ferreux (minerai de fer en morceaux, aggloméré et/ou pellets), additifs (fondants de scorification comme la castine) et agents réducteurs (coke) au moyen d'un système de chargement permettant d'éviter le départ des gaz de haut fourneau. La figure 7.2 est un schéma simplifié de haut fourneau représentant le four, la halle de coulée, les cowpers et le traitement en deux étapes des gaz de haut fourneau.

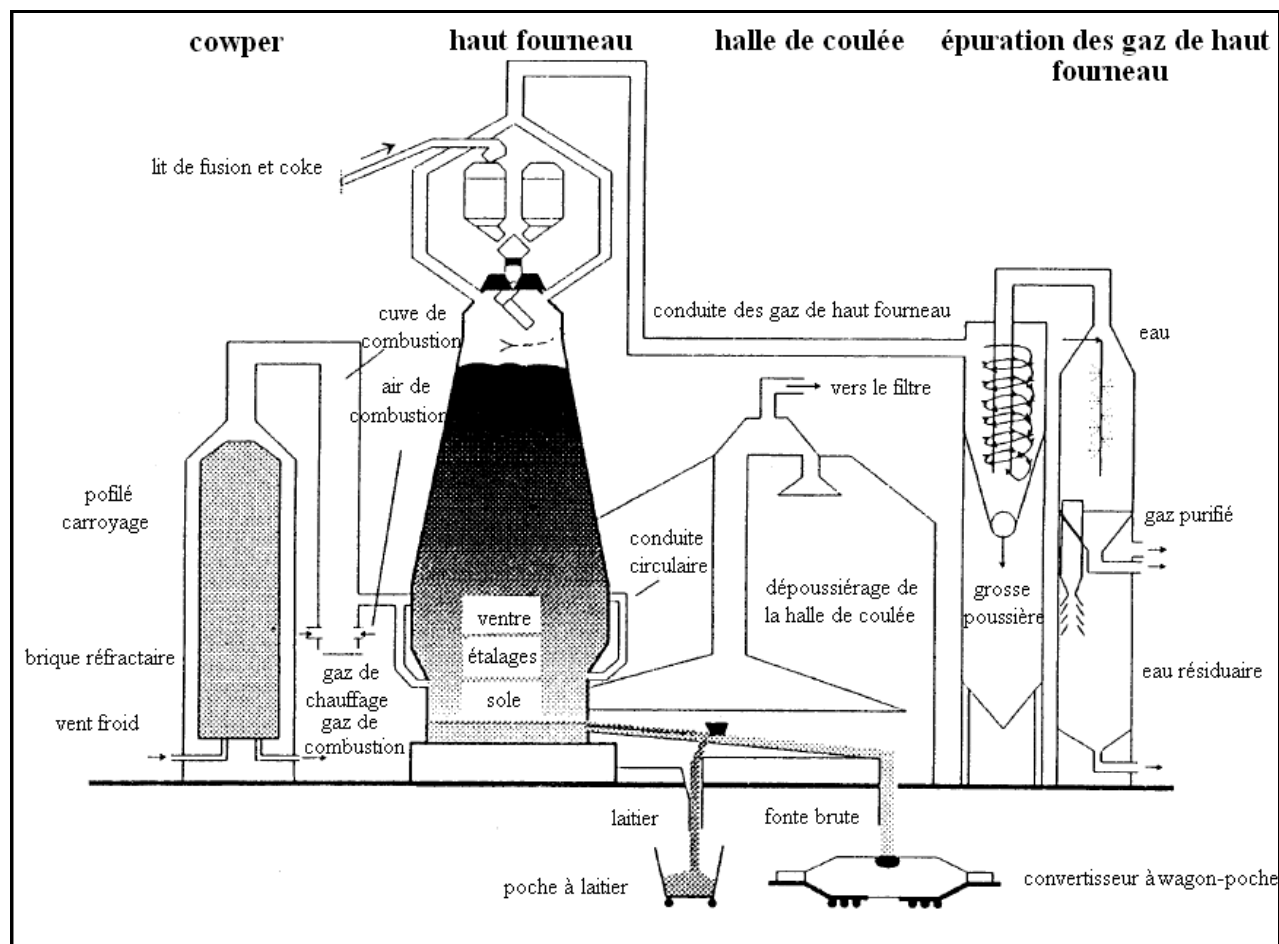


Figure 7.2 : Schéma simplifié de haut fourneau - [UBA Rentz, 1996]

Un vent chaud enrichi en oxygène et en agents réducteurs auxiliaires (poudre de charbon, pétrole, gaz naturel et dans quelques cas plastiques) est injecté au niveau de la tuyère, créant un contre-courant de gaz réducteurs. Le vent réagit avec les agents réducteurs pour produire principalement du monoxyde de carbone (CO), qui à son tour réduit les oxydes de fer pour produire du fer métallique. Le fer en fusion et le laitier sont recueillis dans la sole et tous deux sont coulés régulièrement. Le fer en fusion est transporté jusqu'à l'aciérie dans des poches tonneaux et le laitier est traité pour produire de l'agrégat, du granulé ou des pellets pour la construction routière et la fabrication de ciment. Les gaz de haut fourneau sont recueillis à la bouche, puis retraités et redistribués dans l'installation où ils sont utilisés comme carburant de chauffage ou pour produire de l'électricité.

S'il est vrai que les différents agents réducteurs (carbone et hydrocarbures divers tels que coke, pétrole, gaz naturel, et parfois même les plastiques) sont généralement disponibles en quantités suffisantes et à des prix raisonnables, le choix entre ces derniers ne se fait pas uniquement en fonction des prix. En plus d'être un agent réducteur, le coke assure également le transport de la colonne dans le haut fourneau, fonction indispensable à la bonne marche de ce dernier.

Le minerai de fer traité de nos jours contient une grande quantité d'hématite (Fe_2O_3) et parfois des traces de magnétite (Fe_3O_4). Ces composants sont soumis à une oxydation progressive, pour produire de l'oxyde de fer (FeO), puis une forme de fer solide partiellement réduite et cémentée. Enfin, le fer entre en fusion, les réactions s'achèvent et on récupère du métal en fusion et du laitier au bas du four. Les carbones réducteurs réagissent pour former du CO et du CO_2 . L'ajout de fondants et d'additifs

permet d'abaisser le point de fusion de la gangue, d'améliorer l'absorption du soufre par le laitier, d'obtenir la qualité de fonte brute nécessaire et de poursuivre le traitement du laitier.

Au fur et à mesure que le lit de fusion s'abaisse, sa température s'élève, facilitant les réactions d'oxydoréduction et la formation de laitier. Tout au long de ce processus, la composition du lit de fusion change plusieurs fois :

- Au fur et à mesure de la réduction de l'oxyde de fer du lit de fusion, il se forme de l'éponge de fer puis finalement de la fonte brute en fusion ;
- L'oxygène du minerai de fer réagit avec le coke ou le monoxyde de carbone pour former du monoxyde ou du dioxyde de carbone, recueilli à la bouche ;
- Les éléments de la gangue se combinent aux fondants pour former le laitier, mélange complexe de silicates de densité inférieure à celle du fer en fusion.
- Si le coke sert avant tout d'agent réducteur, il remplit également la fonction de carburant. Il quitte le haut fourneau sous forme de monoxyde de carbone, de dioxyde de carbone ou de carbone contenu dans la fonte brute.
- L'hydrogène éventuellement présent joue également le rôle d'agent réducteur en réagissant avec l'oxygène pour former de l'eau.

Les principales opérations réalisées sont les suivantes :

- chargement de la matière première brute,
- production d'un vent chaud,
- traitement en haut fourneau,
- injection directe d'agents réducteurs,
- coulée,
- traitement du laitier.

7.1.1 Chargement

Le mélange de matériaux ferreux (minerai de fer en morceaux, aggloméré et/ou en pellets) et d'additifs (fondant) est connu sous l'appellation de « lit de fusion ». Le lit de fusion et le coke qui l'accompagne sont chargés par la bouche au moyen de skips ou de bandes transporteuses mécaniques. Ils pénètrent le four par le biais d'un système de chargement fermé permettant d'isoler le four des gaz atmosphériques. Cet isolement est nécessaire car il règne au sein du haut fourneau une pression comprise entre 0,25 et 2,5 bar, donc supérieure à celle de l'atmosphère. Même si de nombreux hauts fourneaux neufs et de dimension importante ont des pressions au gueulard élevées (jusqu'à 2,5 bar), certaines installations modernes fonctionnent à des pressions bien moindres. Selon l'âge du four et en fonction d'autres contraintes comme la pression de vent disponible et les limitations liées à la construction de l'usine de traitement des gaz, ces pressions peuvent être de 0,25 bar seulement.

Le système de chargement hermétique peut être avec ou sans cloche. Le chargement peut entraîner l'émission de particules et de gaz de haut fourneau. A cette étape du processus, les émissions peuvent

être maîtrisées en évacuant les gaz par la bouche du four et en les dirigeant vers un système de traitement des gaz de haut fourneau.

7.1.2 Cowpers

Le vent est chauffé et envoyé vers le haut fourneau par des équipements auxiliaires, les cowpers. Plus la température du vent augmente, plus le besoin de carbone diminue. Le vent chaud est indispensable au transfert de la chaleur vers le lit de fusion encore solide et à l'augmentation de la température en vue de la réaction. Il fournit également l'oxygène nécessaire à la gazéification du coke et contribue à l'acheminement du gaz qui, au contact du lit de fusion, réduit les oxydes de fer.

Le fonctionnement des cowpers est cyclique. Ils sont d'abord chauffés par des gaz en combustion habituellement enrichis de gaz de haut fourneau jusqu'à ce que le dôme atteigne la température correcte (environ 1100 °C à 1500 °C). Ensuite, l'alimentation en gaz est arrêtée et de l'air ambiant froid est introduit dans les cowpers dans le sens inverse. Chauffé par les briques, l'air froid forme un vent chaud (900 °C à 1350 °C), qui est ensuite injecté dans le haut fourneau. Ce processus continue jusqu'à ce que le cowper ne puisse plus fournir de gaz à la température appropriée, puis le cycle de chauffage recommence. La durée de chaque cycle dépend de conditions propres au site, telles que la nature de la source d'énergie, les caractéristiques du système et les mesures de conservation prises.

Les cowpers se rangent en deux catégories, selon qu'ils ont une chambre de combustion de type externe ou interne (Figure 7.3). Cette distinction joue un rôle important en ce qui concerne les émissions de CO (7.2.2.1.1).

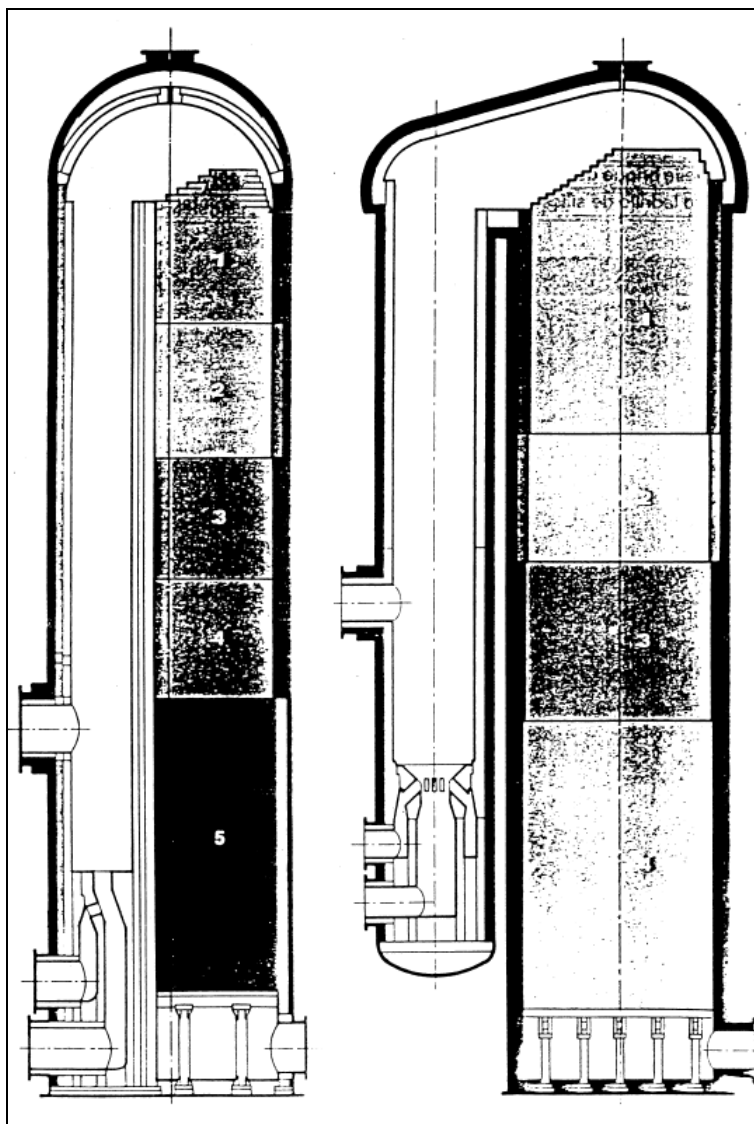


Figure 7.3: Coupe transversale de cowpers avec chambre de combustion interne et externe [EC Sinter/BF, 1995]

Chaque haut fourneau nécessite trois ou quatre cowpers. La phase de chauffage du cowper occasionne des rejets dans l'atmosphère.

7.1.3 Haut fourneau

7.1.3.1 Généralités

Les matières premières brutes entrent par la bouche du haut fourneau et les produits (fer en fusion et laitier) sont recueillis au bas du four, dans la sole. Le lit de fusion solide s'abaisse, entrant en contact avec un courant ascendant de gaz réducteurs. Les gaz de haut fourneau dotés d'une valeur calorifique résiduelle sont recueillis à la bouche pour être traités.

On peut diviser le haut fourneau en six zones de température :

- la bouche ou gueulard : située au sommet, c'est par elle que s'effectue le chargement du lit de fusion et l'évacuation des gaz de haut fourneau ;
- la cuve : les gaz de haut fourneau chauds y transmettent leur chaleur au lit de fusion solide. Le lit de fusion passe de la température ambiante à 950 °C environ. L'oxyde de fer est partiellement réduit dans cette zone ;
- le ventre : relie la cuve aux étalages ; ici, la température s'élève davantage, passant de 950 °C à environ 1250 °C. La réduction de l'oxyde de fer se poursuit et le coke commence à réagir ;
- les étalages : le coke continue à y réagir et le fer y fond pour former du laitier ;
- les tuyères : c'est dans cette zone que le vent chaud est injecté dans le haut fourneau. Les tuyères (il peut y en avoir jusqu'à 42) sont situées tout autour du haut de la sole et sont alimentées par une grande conduite (conduite circulaire) entourant le fourneau à hauteur des étalages. Il y règne des températures pouvant dépasser les 2000 °C et les oxydes y sont entièrement réduits ;
- la sole : c'est là que la fonte brute en fusion et le laitier sont recueillis. La sole est entourée d'un à quatre trous de coulée. Un ou deux d'entre eux sont en activité à chaque instant.

En général, la cuve, le ventre, les étalages et la tuyère sont refroidis à l'eau, tandis que la sole est refroidie à l'eau, à l'huile ou à l'air. Le haut fourneau est revêtu d'une couche de matériau réfractaire d'une épaisseur d'au moins 1,5 m au niveau de la sole.

La production de fonte brute peut aller d'environ 0,5 Mt/an pour les petits hauts fourneaux à environ 4 Mt/an pour les installations de taille très importante.

7.1.3.2 Gaz de haut fourneau

Les gaz de haut fourneau contiennent environ 20 à 28 % de CO, 1 à 5 % de H₂, des composés inertes (50 à 55 % de N₂ et 17 à 25 % de CO₂), des composés de soufre et de cyanure et d'importantes quantités de poussières issues du lit de fusion. Les émissions de cyanure peuvent être particulièrement élevées durant la mise à l'arrêt du haut fourneau. Toutefois, cette opération reste occasionnelle et des additions permettent de maintenir la formation de cyanure au plus bas. Le pouvoir calorifique des gaz de haut fourneau est d'environ 2,7 à 4,0 MJ/Nm³. Ils sont produits à hauteur d'environ 1 200 à 2 000 Nm³/t de fonte brute.

Après épuration et enrichissement au moyen de gaz de cokerie ou de gaz naturel, au pouvoir calorifique plus élevé, les gaz de haut fourneau sont souvent utilisés comme carburant. On peut les employer sans valorisation, par exemple dans les cowpers, si l'installation est équipée de brûleurs et/ou de systèmes de préchauffage de l'air de combustion modernes [UBA Comments, 1997]. Il est également possible de se passer d'enrichissement ou de brûleurs et/ou de systèmes de préchauffage modernes à condition de prendre des mesures de précaution appropriées.

7.1.3.3 Zinc et plomb

Les hauts fourneaux ont recours à du minerai riche. Les éléments accompagnant éventuellement le fer sont répartis entre le métal brûlant et le laitier. Entre autres, du phosphore, du soufre, du manganèse et du silicium passent dans le métal brûlant. Le titane, l'aluminium, le calcium, le magnésium et la

majeure partie du silicium et du soufre passent dans le laitier en tant qu'oxydes ou que métalloïdes. Un certain nombre d'éléments peuvent également se volatiliser et se déposer dans différentes parties du haut fourneau. C'est en particulier le cas du zinc (Zn) et du plomb (Pb), qui entrent dans le haut fourneau par le biais des minerais de fer et des sous-produits recyclés de l'installation d'agglomération.

La quantité totale de zinc présente dans le lit de fusion oscille généralement entre 100 et 250 g/t de fonte brute produite. La plupart des installations modernes tendent à la restreindre à 100 à 150 g/t de fonte brute. Les matériaux recyclés riches en zinc ou en plomb ne sont pas acceptés, ou ne le sont qu'en quantité limitée.

Pour extraire le zinc et le plomb du four, on fait fonctionner le haut fourneau de façon à ce que la température au centre du four ne passe jamais en dessous des 400 °C. Il est alors plus facile d'éliminer le zinc avec le gaz de haut fourneau sous forme de particules d'oxyde de zinc (ZnO), qui sont presque entièrement retenues par le traitement des gaz de haut fourneau [Pazdej, 1995].

7.1.4 Injection directe d'agents réducteurs

Dans la plupart des installations de hauts fourneaux, des agents réducteurs sont injectés dans le four au niveau de la tuyère, ce qui a pour effet de remplacer partiellement le coke dans le lit de fusion supérieur. Cela permet à l'opérateur d'optimiser l'utilisation des agents de réduction et d'améliorer la production tout en réduisant les besoins liés à la fabrication du coke, et par la même occasion les émissions par tonne d'acier produit. De nombreuses installations injectent du charbon pulvérisé, du pétrole ou du gaz naturel. Deux entreprises ont commencé à injecter des déchets plastiques, mettant à profit leur forte teneur en hydrocarbures pour accomplir des processus de réduction [UBA Comments, 1997].

7.1.5 Coulée

Pour éliminer la fonte brute en fusion et le laitier de la sole, on procède régulièrement à une coulée du haut fourneau. Pour cela, on ouvre l'un des trous de coulée situés sur la paroi latérale de la sole au moyen d'une foreuse ou d'une barre d'égalisation, voire dans certains cas avec une lance à oxygène. Un haut fourneau comporte en général entre un et quatre trous de coulée, selon sa capacité (c'est-à-dire sa taille).

Dans les hauts fourneaux modernes, la fonte brute et le laitier sont recueillis ensemble, le laitier commençant toutefois à couler après le métal en fusion. Ces deux éléments sont ensuite séparés dans l'écumoire de laitier de la halle de coulée et empruntent chacun une rigole de coulée différente.

Ensuite, la fonte brute en fusion recueillie dans le haut fourneau coule le long de rigoles recouvertes de ciment réfractaire et doublées de mélanges d'aluminium et de carbone ou de carbure de silicium, puis est versée dans les poches de coulée (directement ou par le biais de rigoles de coulée inclinées). Il peut s'agir de poches de coulée de type ouvert ou fermé, ou encore de wagons-poches. La température du métal en fusion est alors comprise entre 1440 °C et 1500 °C. Le laitier recueilli dans le haut fourneau coule le long des rigoles jusqu'à l'installation de granulation, les poches à laitier ou une fosse à ciel ouvert.

A la fin du cycle de coulée, le trou de coulée est fermé par des moyens mécaniques (en injectant au moyen d'une boucheuse un mélange pour trou de coulée à base d'argile réfractaire).

7.1.6 Traitement du laitier

La quantité de laitier produit dépend du minerai de fer utilisé et de la quantité de fondant nécessaire pour obtenir la qualité de fonte brute souhaitée. Le laitier peut être utilisé de diverses manières, entre autre comme matériau pour la construction routière, comme granulats de béton ou comme ersatz de ciment. La réutilisation de la totalité du laitier issu du haut fourneau est un objectif déjà atteint dans bien des cas.

Trois processus permettent actuellement de traiter le laitier de haut fourneau :

- le traitement du laitier par granulation,
- le traitement du laitier en fosse,
- le traitement du laitier par pelletisation.

Tous les processus de refroidissement du laitier peuvent produire de l'acide sulfhydrique, ce qui peut entraîner des odeurs désagréables.

7.1.6.1 Traitement du laitier par granulation

La granulation est actuellement le processus le plus couramment utilisé dans l'Europe des Quinze pour le traitement du laitier de haut fourneau. Ce processus consiste à verser le laitier fondu dans une tête de granulation située à proximité du haut fourneau en passant au travers d'un jet d'eau à haute pression.

Après granulation, le coulis de laitier et d'eau est généralement acheminé jusqu'à un système de drainage constitué d'un bassin de filtrage horizontal (en particulier en ce qui concerne le processus OCP) et d'un hopper de filtrage ou d'un tambour de déshydratation rotatif (en particulier pour le processus INBA). Bien souvent, le coulis de laitier et d'eau est acheminé dans un réservoir de séparation avant que l'eau y soit drainée. Les vapeurs d'eau y sont ensuite recueillies et condensées, ou rejetées par une cheminée.

Le taux d'humidité résiduaire du laitier après déshydratation est d'environ 10 % en général. Le lit filtrant est régulièrement nettoyé avec de l'eau et de l'air pour éliminer les particules fines. Les figures 7.4 et 7.5 montrent les techniques de granulation les plus courantes : les processus OCP et INBA.

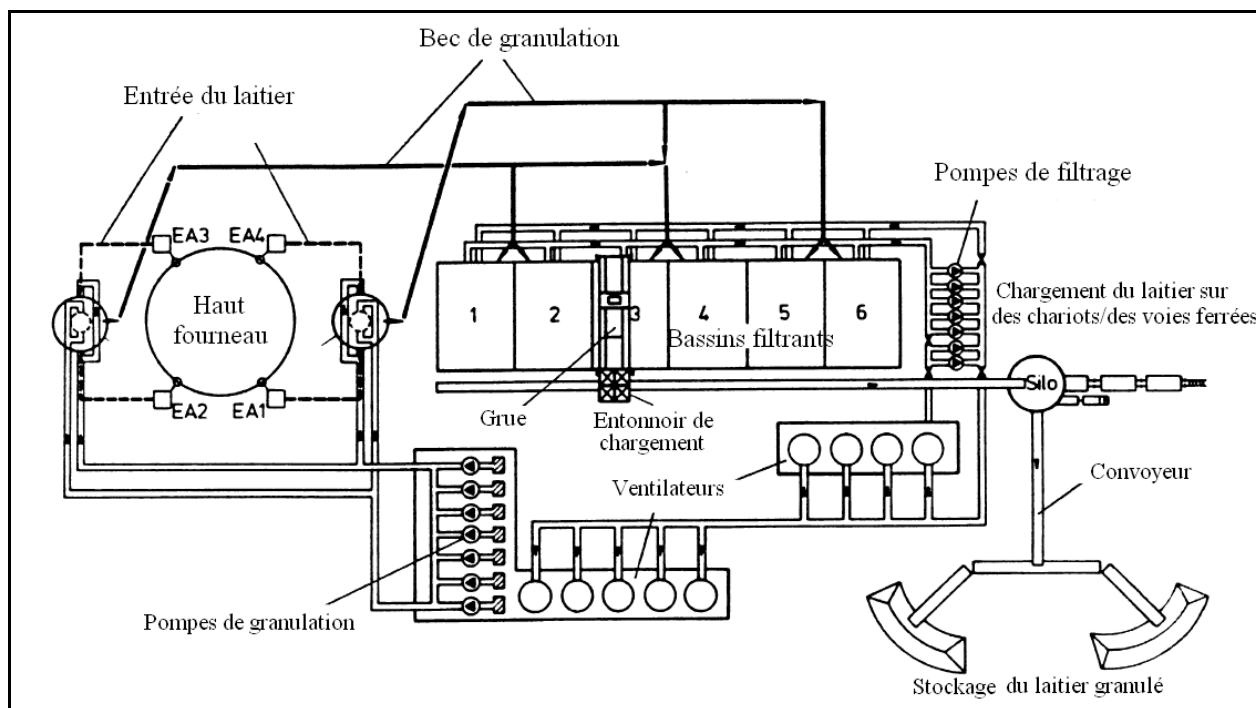


Figure 7.4 : Granulation de laitier de haut fourneau selon le processus OCP [Poth, 1985]

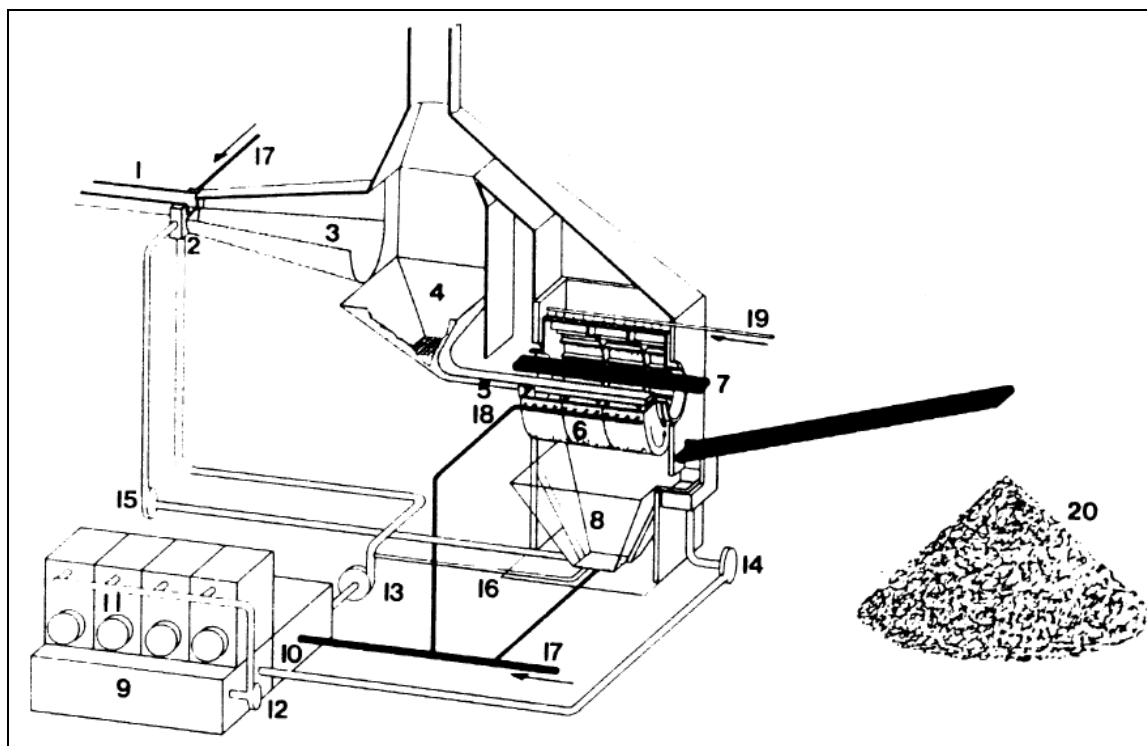


Figure 7.5 : Granulation de laitier de haut fourneau selon le processus INBA [Radoux, 1982]

1. canal de laitier
2. cuve pour éclaboussures
3. canal froid
4. cuve de collecte
5. distributeur
6. tambour de filtrage
7. convoyeur

8. dolomie frittée pour recueillir l'eau
9. poste de refroidissement
13. eau froide
14. pompe eau chaude
15. pompe eaux de puisard
16. eau de fouettage
17. eau d'addition

7.1.6.2 Traitement du laitier en fosse

Le traitement du laitier en fosse consiste à verser directement dans les fosses à laitier adjacentes aux hauts fourneaux de fines couches de laitier fondu. Une autre possibilité consiste à laisser le laitier fondu se refroidir lentement et cristalliser à l'air libre après l'avoir recueilli dans des poches de coulée. On peut également remplir et déblayer les fosses, puis briser le laitier pour s'en servir d'agrégat grossier. Le temps de refroidissement peut être réduit en aspergeant le laitier chaud d'une quantité précise d'eau, ce qui a toutefois pour conséquence d'augmenter les risques d'émission d'odeurs. Si le processus est correctement suivi, l'eau de refroidissement s'évapore entièrement.

Le traitement du laitier en fosse produit du laitier en morceaux, matériau de construction routière recherché. Le temps de refroidissement influe fortement sur la qualité du laitier en morceaux produit. Le refroidissement à l'eau améliore la microstructure du laitier, ce qui lui donne de meilleures propriétés mécaniques.

7.1.6.3 Traitement du laitier par pelletisation

La pelletisation n'est pratiquée que dans quelques installations dans l'Europe des Quinze et au Canada. Le laitier fondu est étalé sur une tôle servant de réflecteur. La plaque de laitier est ensuite découpée au moyen de jets d'eau qui amorcent la phase de gonflement et de refroidissement du laitier. Le soufflage et le refroidissement s'achèvent ensuite par la centrifugation du laitier sur un tambour rotatif. Les particules de laitier suivent différentes trajectoires en fonction de leur dimension, qui peut être comprise entre celle d'un granulat de sable et celle d'une boulette expansée.

Si le processus est correctement suivi, la totalité de l'eau s'évapore ou est absorbée par le produit. La consommation d'eau spécifique est inférieure à celle nécessaire pour la granulation humide.

7.2 Niveaux d'émission et de consommation actuels

7.2.1 Vue d'ensemble des flux entrants et sortants

La figure 7.6 donne un aperçu des flux entrants et sortants d'un haut fourneau. Cet aperçu pourra être utilisé pour recueillir des données issues de hauts fourneaux.

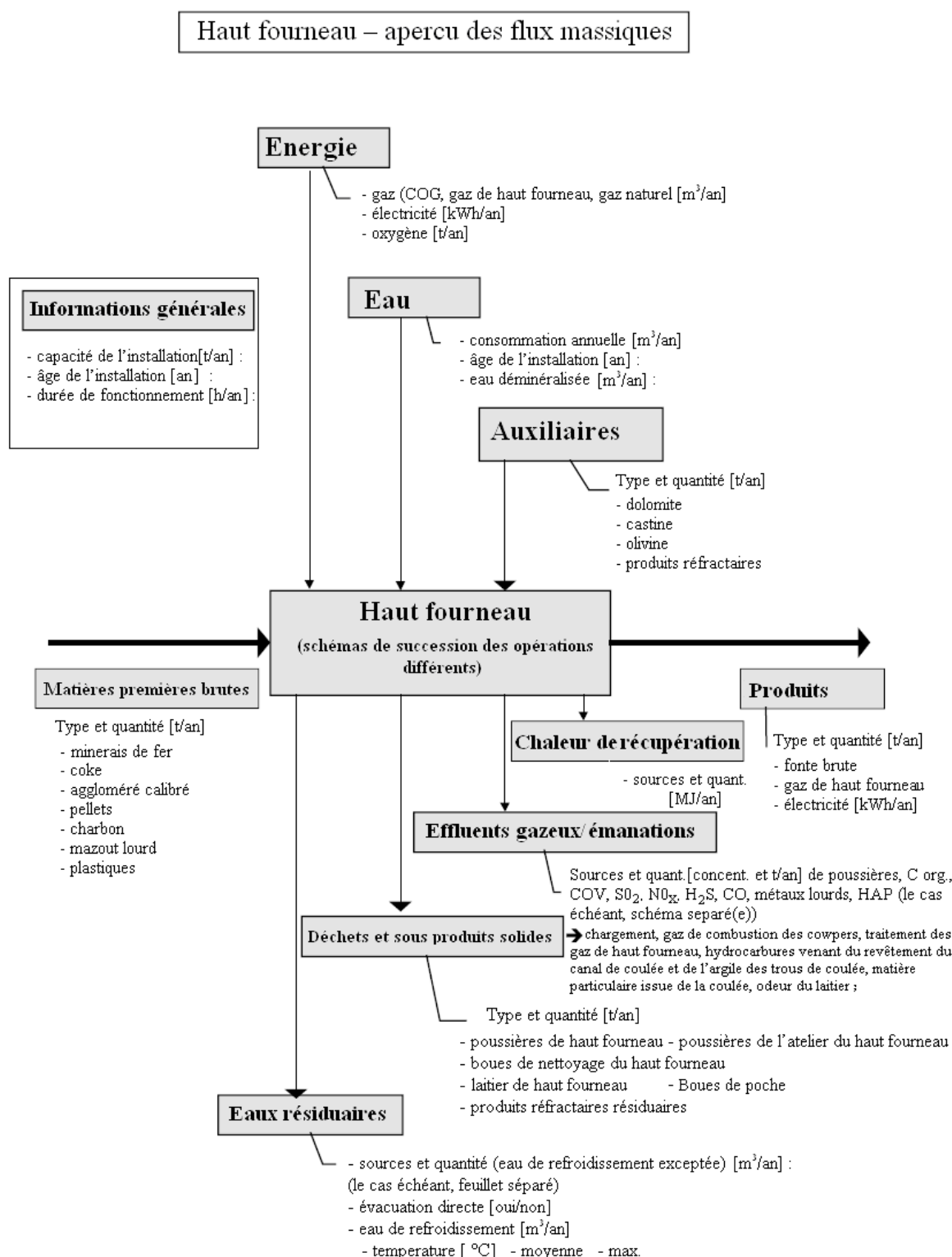


Figure 7.6 : Aperçu des flux d'un haut fourneau

La figure 7.7 illustre le fonctionnement général d'un haut fourneau ainsi que les flux d'entrée et de sortie.

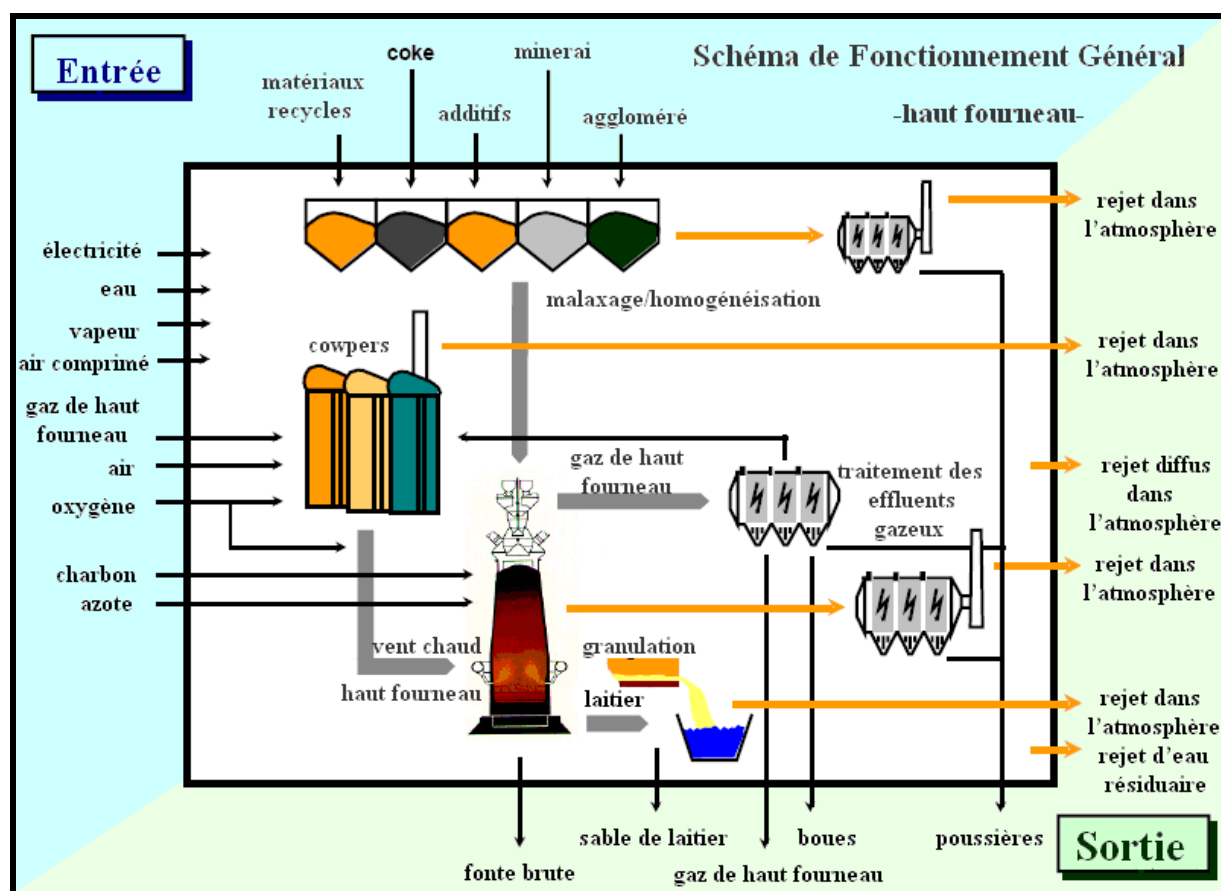


Figure 7.7 : Fonctionnement général d'un haut fourneau avec indication des opérations ainsi que des flux d'entrée et de sortie

On peut calculer les facteurs spécifiques d'entrée et d'émission. Le tableau 7.1 fournit pour ces différents facteurs des chiffres issus de quatre hauts fourneaux situés dans quatre Etats membres de l'UE, fournissant ainsi un aperçu représentatif des installations modernes.

Les facteurs d'émission cités sont calculés par tonne d'acier liquide afin de pouvoir additionner des émissions provenant des différentes unités de production.

Entrée			Sortie		
Matières premières			Produits		
Aggloméré ^{*1}	kg/t fonte brute	720-1480	Fonte brute	kg/t	1000,0
Minerai de fer ^{*1}	kg/t fonte brute	25 –350			
Pellets ^{*1}	kg/t fonte brute	100-770	Énergie		
Gaz de haut fourneau	kg/t fonte brute	280-410	Gaz de haut fourneau	MJ/t fonte brute	4400-5000
Charbon ^{*2}	kg/t fonte brute	0-180	Électricité ^{*6}	MJ/t fonte brute	env. 750
Mazout lourd ^{*3}	kg/t fonte brute	0-60			
Chaux	kg/t fonte brute	0 –10	Émissions gazeuses		
Matériaux recyclés	kg/t fonte brute	2-8	Poussière	g/t LS ^{*8}	10-50
Plastiques ^{*4}	kg/t fonte brute	0 –30	Mn	g/t LS	< 0,01-0,13
			Ni	g/t LS	< 0,01-0,02
			Pb	g/t LS	< 0,01-0,12
Énergie			SO _x	g/t LS	20-230
Gaz de haut fourneau	MJ/t fonte brute	1050-2700	NO _x	g/t LS	30-120
gaz de cokerie	MJ/t fonte brute	90-540	H ₂ S	g/t LS	0,2-20
Gaz naturel	MJ/t fonte brute	50-230	CO	g/t LS	770-1750
Électricité	MJ/t fonte brute	270-370	CO ₂	kg/t LS	280-500
			PCDD/F	µg I-TEQ/t LS	<0,001–0,004
Oxygène ^{*5}	m3/t fonte brute	25-55			
			Résidus/sous-produits		
Vapeur	MJ/t fonte brute	22-30	Laitier	kg/t LS	200-290
			Gaz de gueulard poussière	kg/t LS	6-16
Air comprimé	m3/t fonte brute	9-11	Boue de gaz de gueulard	kg/t LS	3-5
			Poussière de coulée Dépoussiérage halle	kg/t LS	0,5-1,5
Eau	m3/t fonte brute	0,8-50	Granulats	kg/t LS	14-25
			Eaux résiduaires	M ³ /t LS	0,1-3,3 ^{*9}

Légende : LS = acier liquide (acier brut)

^{*1} dépend des conditions du site en question

^{*2} en cas d'injection de poudre de charbon – ce qui est de plus en plus fréquent mais pas universel (le cas échéant : 140-180 kg charbon/t fonte brute)

^{*3} en cas d'injection de pétrole – avec un taux d'injection de vent différent, peut aller jusqu'à 140 kg/t de fonte brute

^{*4} en 1998, l'injection de plastiques est seulement pratiquée dans deux sites dans l'Europe des Quinze

^{*5} l'injection d'oxygène supplémentaire n'est pas toujours nécessaire. En particulier, pour des taux d'injection en tuyère faibles, on peut s'en passer totalement (ce n'est pas le cas pour les quatre hauts fourneaux décrits)^{*6} dans le cas d'une turbine à gaz de haut fourneau

^{*7} émissions totales du haut fourneau (n'inclut pas la combustion de gaz de haut fourneau dans d'autres installations telles que des convertisseurs à oxygène ou des four à coke.

^{*8} facteurs de conversion utilisés (moyenne pondérée de tous les hauts fourneaux européens) : 940 kg de fonte brute/t d'acier brut liquide

^{*9} peut être plus élevé en cas de forte salinité des matières premières brutes

Tableau 7.1 : Données d'entrée/sortie de quatre hauts fourneaux existants situés dans quatre États membres de l'UE

Données datées de 1996 ; les données d'émission sont calculées après réduction ;

Aucune information n'est disponible sur la façon dont ces données ont été obtenues (méthodes d'échantillonnage et d'analyse, calcul des intervalles de temps et des conditions de référence).

Le tableau 7.2 fournit un complément aux informations du tableau 7.1 avec plus de détails sur les facteurs d'émission dans l'atmosphère (après abattement)

Exploitation/source d'émission	Poussière [g/t LS]	H ₂ S [g/t LS]	SO ₂ [g/t LS]	NO _x [g/t LS]	CO [g/t LS]
Zone d'enfournement	n/r x ± s	25/5-38*3 14 ± 13	p.s	p.s	p.s
Préparation du charbon pour l'injection	n/r x ± s	15/2-54 12 ± 16	p.s	p.s	p.s
Halle de coulée BF	n/r x ± s	12/2-79*4 30 ± 24	5/0,3-4*5 -	12/2-250*6 70 ± 34	4/1-27*7 -
Granulation du laitier	n/r x ± s	n.d.	14/1-300*8 63 ± 95	13/1-142*8 31 ± 42	p.s
Cowpers	n/r x ± s	3-6 -	p.s	45/15-375*9 120 ± 100	41/10-550*10 82 ± 102
					29/50- 2700*11,12 700 ± 735

Légende : LS = acier liquide (acier brut) ; x ± s = valeur moyenne et écart-type (calculés seulement si suffisamment de données sont disponibles) ; n = nombre de données ; r = plage de données (min-max) ; l.s = peu significatif ; n/a = non disponible

*1 données issues de [études CE, 1996]

*2 facteurs de conversion utilisés (moyenne pondérée de toutes les aciérie à oxygène européennes) : 940 kg de fonte brute/t d'acier brut liquide

*3 les facteurs d'émission anormalement bas (< 1 g/t d'acier brut liquide) n'ont pas été pris en compte, de même que les données provenant des dépoussiéreurs humides, aux taux d'émission 2 à 20 fois plus élevés.

*4 données provenant d'installations faisant l'objet de mesures permanentes

*5 une valeur extrême, de 64 g H₂S/t d'acier brut liquide, n'a pas été prise en compte

*6 inclut deux valeurs élevées (180 et 250 g SO₂/t d'acier brut liquide), tous les autres valeurs sont inférieures à 100 g SO₂/t d'acier brut liquide

*7 une valeur extrême de 2450 g NO_x/t d'acier brut liquide n'a pas été prise en compte

*8 les valeurs faibles (environ 1 g/T d'acier brut liquide) concernent les installations de granulation de laitier avec condensation des fumées

*9 huit valeurs sont nettement plus élevées (> 200 g SO₂/t d'acier brut liquide) à cause de la teneur en SO₂ du gaz de cokerie usagé.

*10 trois valeurs sont nettement plus élevées (> 300 g NO_x/t d'acier brut liquide) du fait des conditions de combustion

*11 des valeurs élevées sont possibles dans le cas de cowpers avec chambre de combustion interne

*12 il n'apparaît pas clairement si les rejets survenant pendant le chargement du lit de fusion sont inclus ou non

Tableau 7.2 : Facteurs d'émission dans l'atmosphère des hauts fourneaux

7.2.2 Informations sur les différents flux d'émission et la consommation d'énergie

Les émissions suivantes d'effluents gazeux, d'eaux usées et de déchets et sous-produits solides peuvent s'observer dans le traitement en haut fourneau :

7.2.2.1 Émission de gaz résiduaux :

- gaz de combustion provenant des cowpers,
- émissions au chargement,
- gaz de haut fourneau (émission indirecte),
- émissions de la halle de coulée,
- émissions de traitement du laitier.

7.2.2.2 Émission de déchets et sous-produits solides :

- particules issues de la coulée,
- poussières et boues issues du traitement des gaz de haut fourneau,
- laitier de haut fourneau.

7.2.2.3 Émission d'eaux usées :

- eaux de surverse issue du lavage des gaz de haut fourneau,
- eaux usées issues de la granulation du laitier,
- Mise à l'arrêt des circuits de refroidissement à l'eau.

7.2.2.1 Émissions de gaz résiduaux

7.2.2.1.1 Gaz de combustion provenant des cowpers

Les cowpers sont généralement alimentés avec des gaz de haut fourneau, souvent combinés à des gaz de cokerie et/ou du gaz naturel. Les gaz de cokerie contiennent des composés soufrés, qui sont rejetés par les cowpers sous forme de SO_2 lors de l'utilisation des gaz pour la cuisson. Plusieurs cowpers équipés de brûleurs et de systèmes de préchauffage de l'air de combustion modernes seraient utilisés avec des gaz de haut fourneau sans valorisation [UBA Comments, 1997].

Le débit des gaz de combustion provenant des cowpers est d'environ 100 000 à 240 000 Nm^3/h par haut fourneau. Les émissions de SO_2 sont comprises entre 20 et 250 g/t de fonte brute produite (Tableau 7.1) et entre 160 et 400 mg/Nm^3 quand les cowpers sont alimentés en gaz de haut fourneau enrichis. Quand des gaz de haut fourneau et des gaz de cokerie non désulfurés sont employés, le facteur d'émission peut aller jusqu'à 400 g SO_2 /t de fonte brute (Tableau 7.2).

Les cowpers sont la principale source d'émission de NO_x dans le traitement en haut fourneau. Le NO_x se forme du fait des hautes températures dans le cowper. Les émissions sont comprises entre 10 et 580 g/t de fonte brute produite (Tableau 7.2). Les concentrations d'émission peuvent aller de 70 à 400 mg/ Nm^3 .

Les rejets de particules des cowpers sont inférieurs à 10 mg/ Nm^3 au total, soit environ l'équivalent de 3 à 6 g/T de fonte brute produite (Tableau 7.2).

Les émissions de CO sont très importantes dans le cas d'une chambre de combustion interne (cf. figure 7.3). Les fissures dans le briquetage, très difficiles à éviter, ont pour conséquence que les gaz de haut fourneau parviennent sans combustion jusqu'aux gaz résiduels et sont émis à des concentrations pouvant aller jusqu'à 2500 mg CO/ Nm^3 , soit l'équivalent de 2700 g de CO/t de fonte brute (Tableau 7.2). Dans le cas d'une chambre de combustion externe avec combustion contrôlée, les concentrations sont d'environ 50 mg CO/ Nm^3 .

7.2.2.1.2 Émissions lors du chargement et du transport

Etant donné que la pression dans le haut fourneau est supérieure à la pression atmosphérique, on emploie un système de chargement hermétique avec ou sans cloche. Même si tous les composants des gaz de haut fourneau peuvent être émis à ce stade, les principaux produits rejetés sont le monoxyde de carbone (CO) et les particules. Avec des systèmes modernes, il est possible d'atteindre des taux émissions lors du chargement et du transport bien moins élevés [Commentaires UBA, 1997].

7.2.2.1.3 Gaz de haut fourneau (émission indirecte)

Les gaz de haut fourneau bruts contiennent des particules (y compris des métaux lourds et du carbone), du monoxyde de carbone, du dioxyde de carbone, des composés soufrés, de l'ammoniac, des composés de cyanure, des hydrocarbures et du HAP. Ces gaz sont retenus et utilisés comme source d'énergie. On les purifie pour qu'ils remplissent les conditions de qualité requises, puis on les réutilise pour différents processus de cuisson, comme par exemple la génération de vent dans les cowpers (voir 7.1.2) ou la cuisson en four à coke (voir 6.1.2.2). Il y a ainsi émission (indirecte) de gaz de haut fourneau consommés.

Pour le traitement des gaz de haut fourneau, on procède généralement à un prétraitement pour retirer les grosses particules, puis à une épuration par voie humide pour ôter les particules fines (et par conséquent les métaux lourds), le SO_2 et les composés de cyanure. Certaines installations ont recours à la précipitation électrostatique.

La teneur en particules des gaz de haut fourneau bruts varie amplement d'une installation à une autre et dépend largement des conditions de traitement. Il peut aller de 7 à 40 kg/t de fonte brute produite. Après épuration, les gaz de haut fourneau contiennent normalement moins de 10 mg/ Nm^3 de particules, émises sur le site de combustion.

Le tableau 7.3 présente certains facteurs spécifiques concernant plusieurs composants des gaz de haut fourneau bruts.

Composant brut de gaz de haut fourneau	Valeur	Unité	Facteur spécifique	Unité
Production de gaz de haut fourneau	1,0 - 7,0	[$\sim 10^5 \text{ Nm}^3/\text{h}$]	1200-2000	[Nm^3/t fonte brute]
Particules	3500 – 30000	[mg/ Nm^3]	7000-40000	[g/t fonte brute]
Hydrocarbures (C_xH_y)	67 – 250	[mg/ Nm^3]	130-330	[g/t fonte brute]

Composés de Cyanure (CN par ex.)	0,26 - 1,0*	[mg/Nm ³]	0,5 - 1,3	[g/t fonte brute]
Ammoniac (NH ³)	10-40	[mg/Nm ³]	20-50	[g/t fonte brute]
HAP**				
Benzo(a)pyrène	0,08 - 0,28	[mg/Nm ³]	0,15 - 0,36	[g/t fonte brute]
Fluoranthène	0,15 - 0,56	[mg/Nm ³]	0,30 - 0,72	[g/t fonte brute]
Monoxyde de carbone (CO)	20 – 28	[vol. %]	300-700	[kg/t fonte brute]
Dioxyde de carbone (CO ₂)	17-25	[vol. %]	400-900	[kg/t fonte brute]
Hydrogène (H ₂)	1-5	[vol. %]	1-7,5	[kg/t fonte brute]

* les émissions peuvent être nettement supérieures pendant la mise à l'arrêt

** présence de nombreux autres hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Tableau 7.3 : Composition des gaz de haut fourneau bruts avant traitement – source [InfoMil, 1997]

Durant le traitement en deux étapes des gaz de haut fourneau, la poussière et les composés présents dans les particules (par exemple métaux lourds et HAP) sont éliminés. Le tableau 7.4 montre la composition des gaz de haut fourneau après traitement. Les gaz contiennent encore des métaux lourds, mais en quantité bien moindre que dans les installations d'agglomération (voir 4.2.1).

Composant de gaz de haut fourneau traité	Concentration	Unité	Facteur spécifique	Unité
Production de gaz de haut fourneau	1,0-7,0	[$\tilde{1} 10^5 \text{ Nm}^3/\text{h}$]	1200-2000	[Nm^3/t fonte brute]
Particules	1-10	[mg/Nm^3]	1-20	[g/t fonte brute]
Hydrocarbures (C_xH_y)	n.d.	[mg/Nm^3]	n.d.	[g/t fonte brute]
H_2S	14	[mg/Nm^3]	17-26	[g/t fonte brute]
Composés de Cyanure (CN par ex.)	n.d.	[mg/Nm^3]	n.d.	[g/t fonte brute]
Ammoniac (NH_3)	n.d.	[mg/Nm^3]	n.d.	[g/t fonte brute]
Métaux lourds**				
Mn	0,10 - 0,29	[mg/Nm^3]	0,22 - 0,37	[g/t fonte brute]
Pb	0,01 - 0,05	[mg/Nm^3]	0,02 - 0,07	[g/t fonte brute]
Zn	0,03 - 0,17	[mg/Nm^3]	0,07 - 0,22	[g/t fonte brute]
Monoxyde de carbone (CO)	20-28	[vol. %]	300-700	[kg/t fonte brute]
Dioxyde de carbone (CO_2)	17-25	[vol. %]	400-900	[kg/t fonte brute]
Hydrogène (H_2)	1-5	[vol. %]	1-7,5	[kg/t fonte brute]

n.d. = données non disponible

Tableau 7.4 : Composition des gaz de haut fourneau après le traitement en deux étapes – source [InfoMil, 1997]

L'épuration par voie humide est la technique la plus courante pour la seconde étape du traitement des gaz de haut fourneau dans l'UE. L'épuration produit un débit d'eaux usées polluées contenant des matières en suspension (par exemple du carbone et des métaux lourds), ainsi que des composés de cyanure, des composés azotés etc. Du fait de la présence de métaux lourds, et en particulier de zinc, les solides décantés posent des problèmes de pollution. Alors que les grosses poussières sont généralement recyclées dans l'installation d'agglomération, les boues d'épuration sont habituellement déshydratées avant d'être recyclées dans l'installation d'agglomération (d'ordinaire par le biais d'un hydrocyclone) ou mises en décharge contrôlée.

7.2.2.1.4 Émissions de la halle de coulée

La coulée de la fonte brute entraîne des émissions de particules dans une proportion (hors réduction) d'environ 400 à 1 500 g/t de fonte brute produite. La source principale de ces émissions est le contact entre la fonte liquide et le laitier et l'oxygène atmosphérique. Afin de piéger les poussières formées durant la coulée, les halles de coulée de nombreux hauts fourneaux dans l'UE sont équipées de système de dépoussiérage dont les débits peuvent aller de 200 000 m^3/h à 700 000 m^3/h . La poussière est extraite au niveau du trou de coulée, de l'écumoire de laitier et du chargement de la fonte brute dans la poche tonneau. Les émissions de poussières dépendent de la technique de réduction employée (ou de son absence) et de l'efficacité du piégeage de la poussière. Dans bien des cas, le recours à des filtres à manche permet de passer en dessous des 10 mg de poussières/ Nm^3 . Selon le tableau 7.2, les facteurs d'émission de poussières peuvent être compris entre 2 et 85 g/t de fonte brute, avec une moyenne de 32 g de poussières/t de fonte brute.

Une certaine quantité de SO_2 est également émise par le laitier liquide et par le fer pendant la coulée (2 à 270 g/t de fonte brute – voir tableau 7.2).

7.2.2.1.5 Émissions issues du traitement du laitier

La réaction de l'eau et du laitier fondu, en particulier les composés soufrés (principalement le CaS et le MnS) produit de la vapeur et provoque des rejets de H₂S et de SO₂ pouvant provoquer des odeurs et des problèmes de corrosion. Leur importance varie en fonction de la technique de traitement du laitier utilisé.

Les émissions pouvant varier considérablement d'une installation à une autre, d'un cycle de traitement du laitier à un autre et même au sein du même cycle de traitement, la plage de facteurs d'émissions possibles est importante. Les quantités citées dans le tableau 7.2 varient de 1 à 320 g H₂S/t de fonte brute et de 1 à 150 g de SO₂/t de fonte brute pour la granulation du laitier. Si le laitier, au lieu d'être aspergé d'eau, est refroidi à l'air, de petites quantités de SO₂ seront rejetées de façon durable, ce qui peut être considéré comme un avantage du point de vue de la réduction des nuisances.

Une grande partie de l'eau utilisée pour la granulation et la pelletisation peut être recueillie et réemployée. On peut également faire en sorte que ces systèmes génèrent de très faibles quantités d'eaux usées. La vapeur émise durant ce processus contient des particules, du SO₂ et du H₂S, qui sont généralement rejetées dans l'atmosphère. Des tests concernant la réutilisation de la chaleur sensible ont été réalisés, mais n'ont donné lieu à aucune commercialisation pour l'instant. Le potentiel de récupération d'énergie est d'environ 0,35 GJ/t de fonte brute.

La production du laitier en morceaux dans des fosses entraîne généralement des émissions de SO₂ et de H₂S plus importantes et éventuellement plus difficiles à contrôler et le conditionnement à l'eau peut exercer une influence sur les émissions de H₂S.

7.2.2.2 Émissions des déchets et des sous-produits solides

7.2.2.2.1 Particules issues de la coulée

Entre 0,5 et 1,5 kg de poussières peuvent être extraites de la halle de coulée (voir 7.2.2.1.4) par tonne de fonte brute (Tableau 7.1). Il est ensuite possible (et courant) de séparer cette poussière, par exemple au moyen d'un filtre à manche, et de la recycler dans la bande d'agglomération.

7.2.2.2.2 Poussières et boues issues du traitement des gaz de haut fourneau

Le traitement des gaz de haut fourneau se fait généralement en deux étapes : séparation des grosses poussières dans des cyclones, puis séparation des poussières fines dans un dépoussiéreur humide. Il en résulte 6 à 17 kg de poussières sèches et 3 à 5 kg de boues par tonne de fonte brute (Tableau 7.1).

Le tableau 7.5 montre la composition habituelle des grosses poussières sèches. Il s'agit principalement de carbone et de fer provenant respectivement de l'abrasion du coke et du fer. Normalement, ces grosses poussières sont recyclées dans la bande d'agglomération. Il est beaucoup plus difficile de le faire pour les boues, car leur teneur en zinc est une à vingt fois supérieure et leur teneur en plomb vingt à trente fois plus élevée.

C 25-40	Fe 15-40	Pb 0,02-0,07	Zn 0,1-0,5	Mn 0,1-0,5	Al ₂ O ₃ 0,2-3,7	Ti 0,02-0,2
S 0,2-1,3	SiO ₂ 4-8	P ₂ O ₅ 0,04-0,26	CaO 2-8	MgO 0,3-2	Na ₂ O 0,03-0,64	K ₂ O 0,24-0,96

Tableau 7.5 : Composition typique (pourcentage en masse) des grosses poussières sèches provenant du traitement des gaz de haut fourneau – source [IISI, 1987; Mertins, 1986; données issues du document European blast furnaces de 1997]

Les composés de zinc et de plomb sont en majeure partie acheminés vers le cyclone et séparés dans le dépoussiéreur. La plupart des particules associées à des composés de zinc ou de plomb, de même que ces métaux lourds eux-mêmes, ont une grosseur de grain inférieure à 25 µm et sont concentrées dans cette fraction de la boue.

C 15-47	Fe 7-35	Pb 0,8-2,0	Zn 1-10	Mn 0,12-0,14	Al ₂ O ₃ 0,8-4,6	S 2,4-2,5
SiO ₂ 3-9	P ₂ O ₅ 0,1-0,44	CaO 3,5-18	MgO 3,5-17	Na ₂ O 0,15-0,24	K ₂ O 0,08-0,36	

Tableau 7.6 : Composition typique (pourcentage en masse) des boues provenant du traitement des gaz de haut fourneau – source [IISI, 1987; Mertins, 1986; données issues du document European blast furnaces de 1997]

Ces boues sont enfouies dans la plupart des cas. La figure 7.8 montre le devenir des poussières et des boues issues du traitement des gaz de haut fourneau sans faire de distinction entre elles. Le taux d'enfouissement de 33 % est lié à la pratique du déversement des boues.

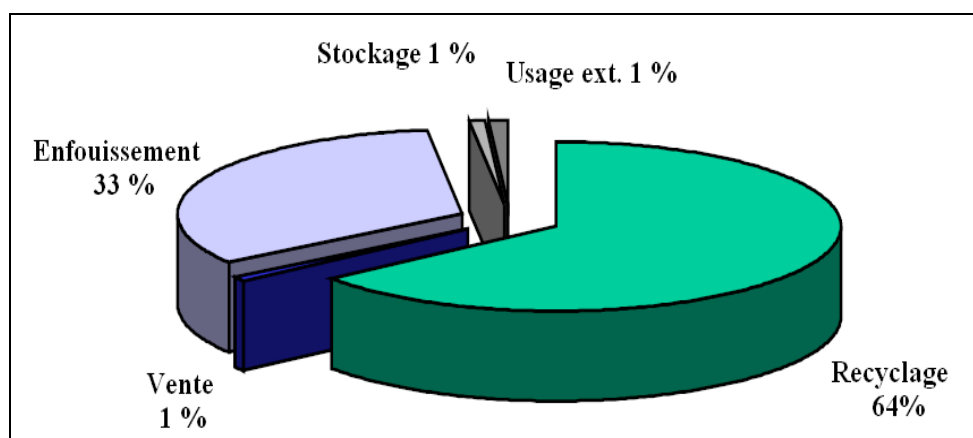


Figure 7.8 : Devenir des poussières et boues issues du traitement des gaz de haut fourneau dans l'UE

[Etude CE, 1996]

7.2.2.2.3 Laitier issu de hauts fourneaux

La quantité de laitier dépend principalement des matières premières brutes employées. Elle est comprise entre 210 et 310 kg/t de fonte brute produite (Tableau 7.1). La composition correspondant à une basicité inférieure ou supérieure à 1,0 est indiquée dans le tableau 7.7.

Classification CaO/SiO ₂ teneur en MgO	Laitier de haut fourneau	
	> 1,0 Moyenne	< 1,0 Elevée
Fe _{total}	0,2 - 0,6	0,4
Mn _{total}	0,2-0,7	0,3
TiO ₂	0,5-2,7	0,7
Al ₂ O ₃	9,0-14,0	9,2
S _{total} , principalement CaS	- 2,0	1,6
SiO ₂	33,2 - 37,0	38,4
CaO	38,1-41,7	35,6

MgO	7,0-11,0	18,0
Na ₂ O	0,3-0,6	0,5
K ₂ O	0,6-0,8	0,8
CaO/SiO ₂	1,1-1,2	0,9
(CaO+MgO)/ SiO ₂	1,3-1,5	1,2

Tableau 7.7 : Composition chimique (pourcentage en masse) des laitier de haut fourneau pour une basicité inférieure ou supérieure à 1,0 – [Geiseler, 1992]

Normalement, le laitier est réemployé de diverses manières (Tableau 7.9).

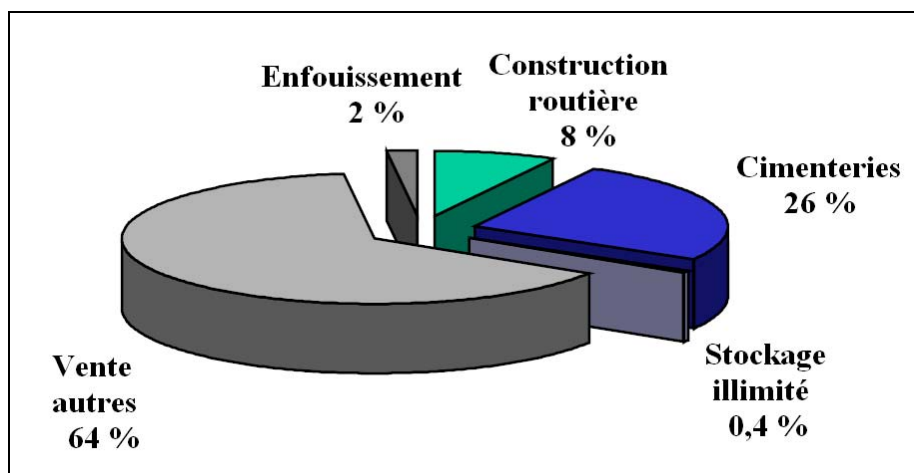


Figure 7.9 : Devenir du laitier de haut fourneau dans l'UE – [Etude CE, 1996]

7.2.2.3 Émissions d'eaux usées

7.2.2.3.1 Eau de surverse issue du traitement des gaz de haut fourneau

L'eau issue de l'épuration des gaz de haut fourneau est traitée normalement, puis refroidie et recyclée dans le dépoussiéreur. Ce traitement est généralement appliqué dans des cuves de décantation de forme circulaire.

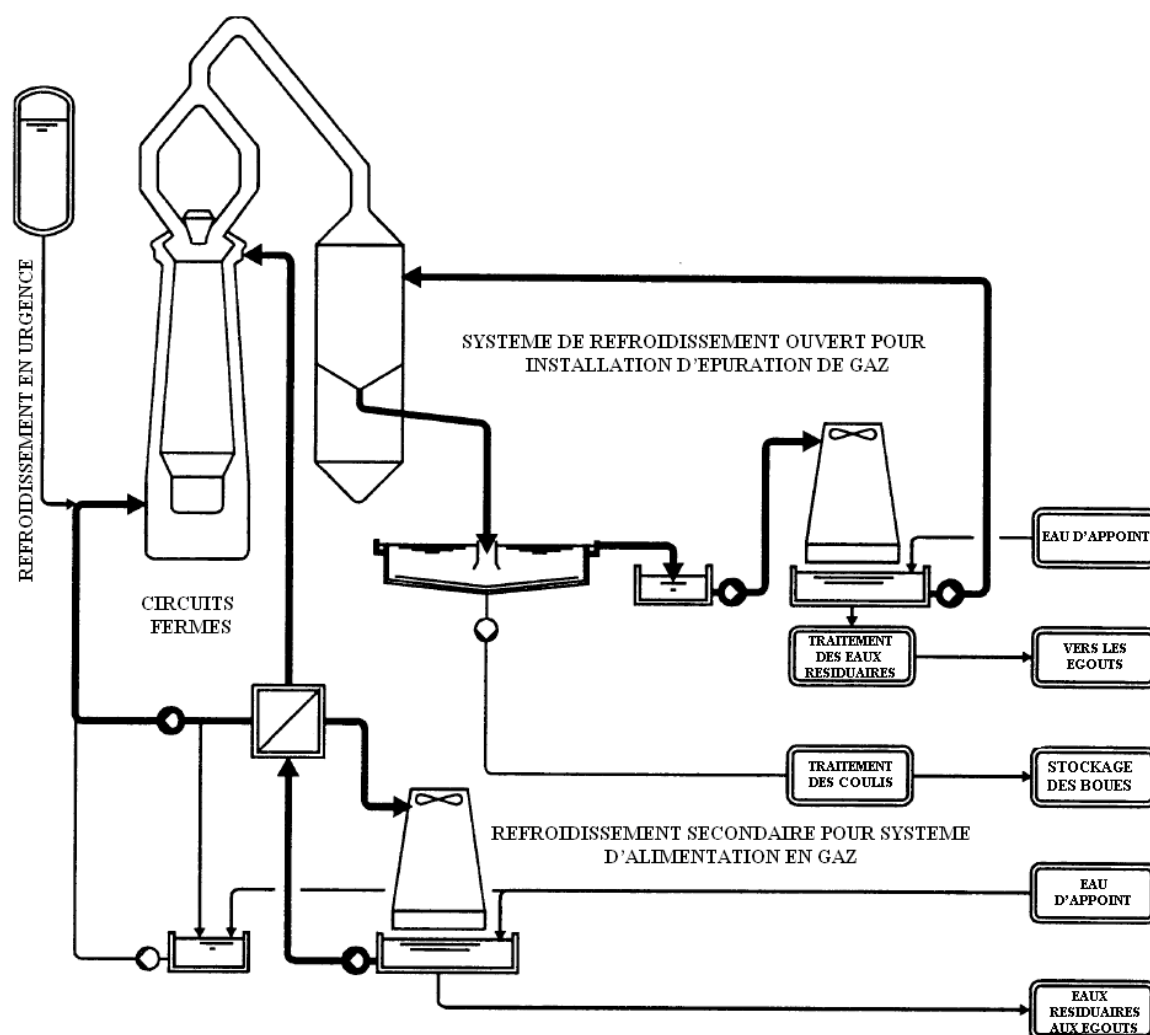


Figure 7.10 : Représentation schématique de la gestion des eaux dans un haut fourneau

La surverse du circuit est généralement comprise entre 0,1 et 3,5 m³/t de fonte brute, en fonction de la qualité ou de la spécification des matières premières et de la disponibilité de l'eau, laquelle exerce une influence sur les mesures d'optimisation du recyclage. En particulier, une forte salinité des matières premières brutes peut faire augmenter les besoins en eau de lavage.

7.2.2.3.2 Eaux usées issues de la granulation du laitier

La surverse des eaux issue de la granulation du laitier dépend en premier lieu de la disponibilité de l'eau. Elle est située entre 0,125 et 10 m³/t de fonte brute produite. Des informations sur la composition chimique recueillies à partir d'une installation allemande sont disponibles. (Tableau 7.8).

Paramètre	Unité	Nombre de mesures	Concentration moyenne	Concentration médiane	Facteur d'émission	Unité
Débit	[m ³ /d]		16 000		1,96	[m ³ /t]
Pb	[µg/l]	19	3,45	2,0	3,92	[g/t fonte brute]
Cr	[µg/l]	19	3,32	2,0	3,92	[g/t fonte brute]
Cu	[µg/l]	19	5,99	4,20	8,232	[mg/t fonte brute]

Zn	[µg/l]	19	37,63	20,00	39,2	[mg/t fonte brute]
Ni	[µg/l]	19	4,91	3,00	5,88	[mg/t fonte brute]
TOC	[mg/l]	19	4,40	4,10	8,036	[g/t fonte brute]
COD	[mg/l]	19	20,62	20,30	39,788	[g/t fonte brute]

*basé sur la médiane

Tableau 7.8 : L'exemple de Stahlwerke Bremen GmbH, Brème (Allemagne) pour la composition des eaux usées issues de la granulation du laitier en 1996/1997 – [Weigel, 1998]

7.2.2.3.3 Mise à l'arrêt des circuits de refroidissement à l'eau

Les circuits de refroidissement à l'eau doivent être mis à l'arrêt (cf. figure 7.10). Aucune information sur les quantités représentatives et la composition chimique n'est disponible.

7.2.2.4 Énergie et besoins en agents réducteurs

Le haut fourneau est l'unité de production la plus gourmande en énergie (sous la forme d'agents réducteurs) de la sidérurgie (cf. figure 3.4). Le tableau 7.9 montre les données concernant l'entrée/la sortie d'énergie d'un haut fourneau produisant de l'électricité par injection de charbon et récupération des gaz de haut fourneau.

Vecteur énergétique	Valeur énergétique spécifique (GJ/t fonte brute)
Entrée:	
- coke	12,4
- charbon pulvérisé	1,63
- vent chaud (des cowpers)	4,52
- Électricité	0,12
- Total (brut)	18,67
Sortie	
- électricité	0,35
- gaz de haut fourneau	5,15

Tableau 7.9 : Exemple d'entrée/sortie d'énergie d'un haut fourneau à pression au gueulard élevée fonctionnant par injection de charbon et récupération de l'énergie des gaz de haut fourneau, en 1986 [InfoMil, 1997]

Beaucoup d'installations dont la pression au gueulard est adéquate (supérieure à 1,5 bar) et la chute de pression suffisante peuvent recevoir des turbines de détente pour la récupération de l'énergie issue de la pression des gaz de gueulard.

Grâce à l'amélioration de ce procédé, la consommation de charbon par aciérie en Europe a considérablement diminuée au cours des 30 dernières années.

Le passage à l'injection directe d'agents réducteurs en lieu et place du coke permettra sans doute de faire encore diminuer la consommation spécifique de coke des hauts fourneaux tout en économisant de l'énergie. D'autre part, de nombreux hauts fourneaux européens ont recours à l'injection de pétrole plutôt que de charbon.

7.3 Techniques à prendre en compte lors de la détermination des MTD

Mesures intégrées au processus

- PI.1 Injection directe d'agents réducteurs
- PI.2 Récupération de l'énergie des gaz de haut fourneau
- PI.3 Récupération de l'énergie de détente des gaz de gueulard
- PI.4 Economies d'énergie dans le cowper
- PI.5 Emploi de revêtements sans goudron pour le plancher de coulée

Techniques appliquées en fin de process

- EP.1 Traitement des gaz de haut fourneau
- EP.2 Dépoussiérage des trous et rigoles de coulée
- EP.3 Suppression des fumées pendant la coulée
- EP.4 Hydrocyclonage des boues de haut fourneau
- EP.5 Traitement et réutilisation des eaux de lavage
- EP.6 Condensation des fumées issues de la granulation du laitier

PI.1 Injection directe d'agents réducteurs

Description : L'injection directe d'agents réducteurs signifie le remplacement d'une partie du coke par une autre source d'hydrocarbure injectée dans le haut fourneau par les tuyères. Ces hydrocarbures existent sous forme de mazout lourd, de résidus huileux, de charbon en grains ou en poudre, de gaz naturel ou de déchets plastiques. On utilise actuellement le charbon en grains ou en poudre et le pétrole. La diminution du besoin en charbon réduit la pollution générale et la demande d'énergie.

Il convient de souligner cependant qu'une quantité donnée de coke est toujours nécessaire au bon fonctionnement des hauts fourneaux. Le coke fournit la capacité de charge nécessaire au maintien de l'enfournement du haut fourneau et assure une pénétration suffisante du gaz.

Le maximum théorique concernant l'injection de charbon dans les tuyères est estimé à 270 kg/t de fonte brute. Cette limite correspond à la capacité de charge du coke et aux conditions thermochimiques dans le haut fourneau. L'injection d'hydrocarbures par les tuyères nécessite une injection supplémentaire d'oxygène (à des niveaux augmentant avec les taux d'injection par les tuyères) afin d'atteindre les températures requises à l'intérieur du haut fourneau. Nous n'avons que peu d'expérience avec des taux élevés d'injection par tuyère (et donc avec des taux élevés d'oxygène), la sécurité devient à ce stade une question plus importante.

Le type de charbon et les effets de l'injection de charbon sur la qualité de la fonte brute influent également sur le taux d'alimentation maximum [Campbell, 1992 ; InfoMil, 1997].

Type	Taux d'injection (kg/t de fonte brute)	Taux de coke résiduel (kg/t de fonte brute)	Consommation totale de charbon* [kg/t fonte brute]
Aucun	0	500	625
Typique	180	310	568
Meilleures pratiques	210	270-300	547-585

* on part du principe que 1 kg de coke est produit à partir de 1,25 kg de charbon

Tableau 7.10 : Comparaison entre la consommation de coke résiduel et la consommation totale de charbon à différents niveaux d'injection de charbon pulvérisé

Principale économie d'énergie réalisée : Les économies d'énergie nettes d'injection de charbon ont été estimées à 3,76 GJ/t de charbon injecté. Pour un taux d'injection de 180 kg/t de fonte brute, les économies d'énergie s'élèvent à 0,68 GJ/t de fonte brute ou à 3,6 % de la consommation d'énergie brute du haut fourneau (voir tableau 7.9). Cette économie d'énergie est la conséquence indirecte de la réduction de la consommation de coke. Des taux d'alimentation plus élevés permettront d'augmenter les économies d'énergie.

Effets croisés : L'injection directe d'agents réducteurs réduit le besoin de production de coke. On évite ainsi les émissions dans les cokeries. Pour chaque kg de charbon injecté, environ 0,85 à 0,95 kg de production de coke est économisée.

Applicabilité : L'injection directe d'agents réducteurs est applicable autant dans les nouveaux que dans les anciens hauts fourneaux. Il convient de noter que cette mesure hautement intégrée au processus est étroitement liée au fonctionnement du haut fourneau et à la stabilité qui en résulte ainsi qu'à la qualité de la fonte brute et du laitier.

Installations de référence : L'injection de charbon ou de pétrole dans les hauts fourneaux est une technique maintenant largement répandue en Europe et dans le reste du monde (injection de charbon dans les hauts fourneaux de Hoogovens IJmuiden, NL- IJmuiden ; Sidmar, B-Gent ; Thyssen AG, D-Duisburg et injection de pétrole à British Steel, UK- Teesside ; Voest Alpine, A-Linz).

Données opérationnelles : À Hoogovens IJmuiden, le charbon pulvérisé est injecté à une échelle commerciale.

Le taux d'injection standard était de 170 kg de charbon/t de fonte liquide dans le haut fourneau 6 en 1993, mais des tests réalisés dans le haut fourneau ont montré que des taux d'injection de 210 kg/t de fonte brute avec un taux de coke de 270 kg/t de fonte brute étaient possibles. Ces taux ne semblent néanmoins pas pouvoir être appliqués sur de longues périodes. Les mesures ont indiqué que moins de 1 % du charbon injecté s'échappait par la bouche du haut fourneau [Steeghs, 1994].

À des taux d'injection du charbon élevés, le haut fourneau présente une tendance au travail dans la zone basse du mur et à l'augmentation de la résistance du haut fourneau. Cela indique qu'il est nécessaire de contrôler attentivement la répartition du lit de fusion avec des taux de coke bas et de respecter un équilibre subtil entre le débit de gaz mural et central [Steeghs, 1994].

Aspects économiques : Il existe des incitations économiques à utiliser des taux élevés d'injection de charbon afin de réaliser des économies plus importantes, en particulier dans les installations susceptibles d'être confrontées à des dépenses en immobilisations pour la reconstruction de fours à coke ou de devoir acheter du coke. De plus, l'injection de coke autorise l'utilisation de charbons de qualité inférieure à celle des charbons à coke. Ce qui peut également réduire les coûts.

On rapporte des coûts de 10 ECU₁₉₉₆/GJ en 1988 [InfoMil, 1997]. Toutefois, [Campbell, 1992] indique que des économies peuvent être réalisées grâce à la consommation plus faible de coke. Les dépenses d'infrastructure pour la mise en place de l'injection de charbon dans le haut fourneau N°4 de Brithish Steel, UK - Port Talbot en 1997 a coûté environ 24 MEcu (y compris certains éléments redondants d'un autre site).

Documents de référence : [Campbell, 1992 ; Steeghs, 1994 ; InfoMil, 1997]

PI.2 Récupération de l'énergie des gaz de haut fourneau

Description : Un haut fourneau type produit environ 1 200 à 2 000 Nm³ de gaz de haut fourneau par tonne de fonte brute. Le gaz de haut fourneau est constitué de 20 à 28 % de monoxyde de carbone (CO) et de 1 à 5 % d'hydrogène (voir tableau 7.3 et Tableau 7.4). Le monoxyde de carbone se forme au cours de l'oxydation du carbone dans le haut fourneau. Une grande partie du CO est oxydée en CO₂ dans le haut fourneau. Le monoxyde de carbone et l'hydrogène représentent une source d'énergie potentielle. C'est pourquoi des mesures sont prises dans tous les hauts fourneaux du monde afin de récupérer cette énergie.

Le gaz de gueulard est nettoyé et stocké dans des gazomètres pour être ensuite utilisé comme carburant. Etant donné la faible teneur en énergie du gaz de haut fourneau par Nm³, il est souvent enrichi en gaz de four à coke ou en gaz naturel pour être utilisé comme carburant.

Principale économie d'énergie réalisée : La teneur en énergie du gaz de haut fourneau varie normalement entre 2,7 et 4,0 MJ/Nm³, selon sa concentration en monoxyde de carbone. Cela représente seulement 10 % de la teneur en énergie du gaz naturel. Toutefois, les importantes quantités de gaz de haut fourneau produites signifient que le potentiel de récupération d'énergie est élevé. L'export total du haut fourneau est environ de 5 GJ/t de fonte brute, ce qui correspond à 30 % de la consommation d'énergie brute du haut fourneau.

Applicabilité : Applicable dans toutes les nouvelles et anciennes installations.

Effets croisés : Le lavage du gaz de haut fourneau est inévitable et produit des eaux usées et des résidus solides.

Installations de référence : Mise en œuvre dans de nombreux hauts fourneaux, nouveaux et anciens.

Données opérationnelles : Aucune donnée de production particulière nécessaire.

Aspects économiques : Des économies importantes sont réalisées grâce aux économies d'énergie.

Documents de référence : Non disponibles

PI.3 Récupération de l'énergie de détente des gaz de gueulard

Description : Les hauts fourneaux fonctionnant à des pressions maximales élevées fournissent une occasion idéale de récupérer de l'énergie à partir des importantes quantités de gaz de gueulard qu'ils produisent. L'énergie est récupérée au moyen d'une turbine de détente installée après le dispositif de lavage du gaz de gueulard.

Principale économie d'énergie réalisée : La quantité d'énergie susceptible d'être récupérée à partir du gaz de gueulard dépend de la quantité de gaz de gueulard, du gradient de pression et de la température d'admission. Récupérer de l'énergie de cette manière est une solution viable lorsque la chute de pression dans le dispositif de lavage et le réseau de distribution du gaz de haut fourneau est faible.

La pression du gaz de gueulard dans les hauts fourneaux modernes est environ de 0,25 à 2,5 bar. La pression du canal collecteur principal de gaz de haut fourneau est environ de 0,05 à 0,1 bar. Une partie de la pression du gaz de gueulard est « consommée » par le dispositif de lavage du gaz.

L'électricité produite équivaldrait à 15 MW dans un haut fourneau moderne avec une pression de gaz de gueulard de 2 à 2,5 bar.

Les économies d'énergie sont estimées à près de 0,4 GJ/t de fonte brute pour une turbine de 15 MW. Les économies s'élèvent à 2 % de la consommation brute d'énergie du haut fourneau. La récupération de la pression des gaz de hauts fourneaux est une pratique courante dans les hauts fourneaux fonctionnant avec une pression de gaz élevée.

Applicabilité : La récupération de la pression des gaz de gueulard peut être mise en œuvre dans les nouvelles installations et, selon les circonstances, également dans les anciennes installations, toutefois avec des difficultés et des coûts supplémentaires. Dans les nouvelles installations, la turbine de gaz de gueulard et le dispositif de lavage du gaz de haut fourneau peuvent être adaptés l'un à l'autre afin d'obtenir un lavage et une récupération efficaces.

Effets croisés : Il convient de noter que l'utilisation de turbines nécessite un lavage complet des gaz de haut fourneau. Tout d'abord, une haute teneur en alcalis provoque des problèmes techniques (corrosion).

Installations de référence : La récupération de la pression des gaz de gueulard est mise en œuvre dans le monde entier dans les hauts fourneaux modernes avec une pression et une quantité élevées de gaz de gueulard.

Données opérationnelles : Fonctionne habituellement de façon automatique et sans problème. Les turbines axiales peuvent être utilisées. Ces dernières sont plus efficaces que les turbines radiales. Le point critique correspond au moment où les turbines doivent être mises à l'arrêt et le gradient de pression transféré au dispositif de lavage du gaz. Des mesures de « sécurité » spéciales sont toujours prises afin d'éviter que le dispositif de lavage du gaz et/ou le collecteur principal ne soit endommagé.

Aspects économiques : L'installation d'une turbine de récupération de la pression des gaz de gueulard apporte avant tout un avantage économique. La rentabilité de la turbine augmente avec les quantités et le gradient de pression des gaz de gueulard et avec les coûts énergétiques. Dans un haut fourneau moderne, une période de recouvrement de l'investissement inférieure à trois mois est possible, mais selon les circonstances locales et la pression des gaz de gueulard, elle peut excéder 10 ans.

Documents de référence : [Arimitsu, 1995 ; Fisher, 1988 ; Jokschi, 1995 ; InfoMil, 1997]

PI.4 Economies d'énergie dans les cowpers

Description : Les cowpers sont alimentés avec du gaz de haut fourneau (souvent enrichi). Plusieurs techniques sont disponibles afin d'optimiser l'efficacité énergétique du cowper :

1. L'exploitation assistée par ordinateur du cowper évite les réserves inutiles en adaptant l'approvisionnement en énergie à la demande effective et minimise la quantité de gaz d'enrichissement ajouté (dans les cas où il y a enrichissement) ;
2. Préchauffage du carburant combiné à l'isolation de la ligne de vent froid et à la combustion des gaz résiduels. La chaleur sensible issue des gaz de combustion peut être utilisée afin de préchauffer les combustibles. La faisabilité dépend de l'efficacité des cowpers car c'est elle qui détermine la température des gaz résiduels ; ainsi, lorsque les gaz résiduels tombent à des températures inférieures à 250°C, la récupération de la chaleur ne constitue plus, techniquement et économiquement, une option intéressante. L'échangeur thermique consiste normalement pour des raisons économiques en un circuit de chauffage du pétrole. Dans certains cas, la chaleur importée peut être utilisée, par exemple celle du refroidisseur, lorsque les distances sont raisonnables. Un combustible préchauffé réduit la consommation d'énergie. Dans les installations utilisant des gaz de haut fourneau enrichis, le préchauffage du carburant pourrait rendre inutile l'enrichissement ;
3. Amélioration de la combustion grâce à des brûleurs plus adaptés ;
4. Mesure rapide du O₂ et adaptation consécutive aux conditions de combustion.

Principale économie d'énergie réalisée

[Joks, 1995] rend compte des économies d'énergie suivantes :

1. L'exploitation assistée par ordinateur du cowper amène une amélioration de l'efficacité du cowper de plus de 5 %. Cela équivaut à une économie d'énergie de l'ordre de 0,1 GJ/t de fonte brute ;
2. Le préchauffage des combustibles peut également conduire à une économie d'énergie d'environ 0,3 GJ/t de fonte brute ;
- 3/4. Une économie supplémentaire de 0,04 GJ/t de fonte brute peut être réalisée en améliorant la combustion et en adaptant les conditions de combustion.

Au total, la combinaison de plusieurs techniques permet de réaliser des économies d'énergie d'environ 0,5 GJ/t de fonte brute produite.

Applicabilité : Applicable tant dans les nouvelles que dans les anciennes installations.

Effets croisés : Aucun effet croisé n'a été rapporté à ce jour [Joks, 1995]. Il est possible que le préchauffage des combustibles et une augmentation constatée des gaz de combustion provoquent une augmentation des émissions de NO_x des cowpers. L'utilisation de brûleurs modernes est susceptible de réduire les émissions de NO_x.

Installations de référence :

Thyssen Stahl AG, D-Duisburg ;

Haut fourneau N°7 ; Hoogovens IJmuiden, NL- IJmuiden; Sidmar, B-Gent ;

Aceralia, E-Gijon.

Données opérationnelles : Non disponibles

Aspects économiques : Ces mesures pourraient s'avérer intéressantes car en réduisant la consommation d'énergie, elles permettent de faire des économies. La rentabilité dépend de la quantité d'énergie économisée et des coûts d'investissement et d'exploitation des mesures mises en oeuvre. Les coûts d'installation normaux pour un récupérateur de chaleur sont de 6 MECU₁₉₉₇ par lot de cowpers, c'est à dire par haut fourneau. La mise en place du contrôle assisté par ordinateur pourra nécessiter la construction d'un quatrième cowper dans le cas des hauts fourneaux à trois cowpers (si possible) afin de maximaliser les profits.

Documents de référence : [Joksch, 1995]

PI.5 Emploi de revêtement sans goudron pour le plancher de coulée

Description : Le système de rigoles dans la halle de coulée d'un haut fourneau est constitué d'une couche externe réfractaire (par ex. du béton). Les rigoles sont revêtues d'un matériau résistant à la chaleur à base d'aluminium intégré dans une matrice carbone. Le brai de houille peut servir de liant.

Les revêtements protègent la couche externe contre la chaleur du fer en fusion et (en particulier) du laitier liquide. Ils sont soumis à l'usure et doivent être remplacés au bout de quelques semaines. La qualité de la matrice carbone est un facteur important de la durabilité des revêtements du canal. Une matrice faible ne soutient pas l'aluminium et provoque une usure plus rapide des revêtements.

La résistance requise du mélange n'est obtenue qu'après chauffage pendant plusieurs heures au moyen de brûleurs. La décomposition du goudron au cours du chauffage provoque des émissions d'hydrocarbures (et de HAP). Une faible partie des émissions intervient durant la coulée du laitier et de la fonte brute.

Un nouveau type de revêtement pour la rigole de coulée ne contenant pas de goudron a été développé et est en train d'être mis en œuvre avec succès. Grâce au nouveau revêtement de la rigole de coulée, les émissions de composés organiques volatiles (COV) et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont bien moins élevées. Le nouveau matériau dispose de la même résistance au laitier et la durabilité peut même être supérieure à celle de revêtements traditionnels pour le plancher de coulée.

Principaux niveaux d'émission atteints :

Le tableau 7.11 montre les données concernant la réduction d'émission résultant de l'utilisation de revêtements sans goudron pour le plancher de coulée. Les données suivantes sont estimées sur la base d'un modèle théorique.

Composant	Revêtement de rigole de coulée traditionnel (g/t fonte brute)	Revêtement de rigole de coulée sans goudron (g/t fonte brute)	Réduction des émissions (%)
Composés organiques volatiles (COV)	100	1	99
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	3,5	0,03	99

Tableau 7.11 : Émissions issues de revêtements de la rigole de coulée – [InfoMil, 1997]

Applicabilité : En principe, les revêtements sans goudron pour le plancher de coulée sont applicables tant dans les nouveaux que dans les hauts fourneaux déjà existants.

Effets croisés : L'application de cette mesure a un effet positif sur la santé des employés, ces derniers étant moins exposés à des éléments nuisibles. Pas d'autres effets croisés connus.

Installations de référence : Hoogovens IJmuiden, NL-IJmuiden

Données opérationnelles : À Hoogovens IJmuiden, les revêtements sans goudron pour le plancher de coulée sont actuellement utilisés sans problème et conduisent même à une amélioration de la durabilité du revêtement de la rigole de coulée.

Aspects économiques : Non disponibles

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

EP.1 Traitement des gaz de haut fourneau

Description : Les gaz de haut fourneau doivent être nettoyés pour remplir les conditions du gaz de grille. Quand il quitte le haut fourneau, le gaz de haut fourneau (ou gaz de gueulard) contient des particules : cyanure (HCN), ammoniac (NH_3) et composés soufrés (cf. tableaux 7.3 et 7.4).

Le gaz de haut fourneau est normalement traité en deux étapes. La première étape consiste en la séparation des particules au moyen d'un cyclonage à sec, d'un déflecteur etc. Les particules récupérées ont une teneur importante en fer et peuvent être recyclées dans les installations d'agglomération (cf. tableau 7.5).

La seconde étape consiste en la séparation des particules (comme l'oxyde de zinc (ZnO) et le carbone(C)), du cyanure et de l'ammoniac par épuration par voie humide. Les dépoussiéreurs sont spécialement conçus comme dépoussiéreurs à chicanes, comme épurateurs de Venturi ou comme dépoussiéreurs à col annulaire. On a parfois recours à un précipitateur électrostatique humide.

Dans les installations modernes, une attention toute particulière est prêtée à la chute de pression du système de lavage du gaz car une chute de pression élevée a des effets négatifs sur la turbine de récupération de la pression du gaz de gueulard (cf. PI.3). L'objectif est de mettre en place des systèmes de lavage du gaz avec une faible chute de pression et une efficacité de lavage du gaz élevée.

Principaux niveaux d'émission atteints : Les systèmes de lavage du gaz ont habituellement une efficacité élevée, ils permettent d'obtenir pour le gaz lavé une concentration résiduelle de particules inférieure à 10 mg/Nm^3 . Des valeurs aussi faibles que 1 mg/Nm^3 ont également été atteintes. Les particules non captées par le système de lavage du gaz sont émises ou brûlées sur le site de combustion du gaz de haut fourneau. La chute de pression du système de lavage du gaz dépend du type d'équipement utilisé. Les chutes de pression constatées dans deux systèmes modernes se situaient entre 0,07 et 0,14 bar. Les chutes de pression dans les installations plus anciennes sont de l'ordre de 0,15-0,5 bar.

Applicabilité : Les hauts fourneaux du monde entier utilisent les systèmes de lavage du gaz de haut fourneau. Dans les nouvelles installations, un système moderne combinant une chute de pression faible et une consommation d'eau et d'énergie réduite peut être mis en œuvre. De nombreux anciens hauts fourneaux sont équipés de dépoussiéreurs « désuets ». Ces dépoussiéreurs sont en mesure de remplir les conditions du gaz de grille, mais ils consomment des quantités considérables d'eau et d'énergie et ont une chute de pression relativement élevée. Il est parfois possible de remplacer le dépoussiéreur par un autre plus moderne, mais il convient alors d'envisager la mise en place d'une turbine de pression de gaz de gueulard (voir Chapitre : PI.3), qui dépend entre autres facteurs de la pression de fonctionnement du haut fourneau.

Effets croisés : Il convient de noter que les dépoussiéreurs produisent un débit d'eaux usées polluées. La consommation brute d'eau dans les systèmes de haut fourneau est de $0,1 - 3,5 \text{ m}^3/\text{t}$ de fonte brute (voir tableau 7.2.2.3.1 et Tableau 7.1). Les matières premières ayant une plus grande salinité peuvent nécessiter un débit d'eau plus important pour laver le gaz de haut fourneau. Le débit d'eau généré contient des matières en suspension (comme le charbon et des métaux lourds (Zn , Pb)), des composés de cyanure et de l'ammoniac. Habituellement, les eaux usées sont traitées par précipitation des métaux lourds, et des déchets solides (boue) sont produits.

La boue de haut fourneau présente des concentrations relativement importantes de zinc (Zn) et de plomb (Pb) (voir tableau 7.6) qui empêchent le recyclage de la boue dans le processus de production. Le zinc en particulier est un « poison » pour le haut fourneau, c'est pourquoi certaines installations utilisent l'hydrocyclonage pour séparer le flux de boue en deux flux : l'un présentant une teneur en zinc faible et pouvant être recyclé dans l'installation d'agglomération, l'autre présentant une teneur en zinc élevée et pouvant être stocké ou éliminée (voir EP.4).

Installations de référence : Traitement largement répandu dans le monde entier.

Données opérationnelles et aspects économiques : Non disponibles

Documents de référence : [Pazdej, 1995 ; InfoMil, 1997]

EP.2 Dépoussiérage des trous et rigoles de coulée

Description : La fonte brute et la boue sont coulées par le haut fourneau et circulent dans les rigoles de coulée avant d'atteindre respectivement la poche de coulée et l'unité de traitement du laitier. Pendant la coulée, le métal liquide entre en contact avec l'oxygène atmosphérique (O_2) lorsqu'il circule dans les rigoles de coulée. En raison de la température élevée du fer (1300 - 1500°C), il réagit avec l'air pour former des oxydes de fer (comme le Fe_2O_3). C'est ce que l'on appelle la fumée rousse.

Le laitier ne réagit pas avec l'oxygène atmosphérique parce que la plupart de ses composants se sont déjà oxydés. Toutefois, des oxydes alcalins (comme le Na_2O et le K_2O) peuvent se vaporiser à partir du laitier formant des émissions de particules.

De manière générale, deux types de mesures peuvent être appliqués pour réduire les émissions de poussière issues de la coulée :

1. couvrir les rigoles de coulée au moyen de couvercles amovibles,
2. dissiper l'oxygène issu de la fonte liquide en couvrant celle-ci avec de l'azote (N_2). La formation d'oxydes de fer est ainsi évitée (voir EP.3).

Principaux niveaux d'émission atteints : Pendant la coulée, environ 400 à 1 500 g de particules sont produites par tonne de fonte brute lorsque aucune mesure de réduction n'est appliquée. L'évacuation de l'air par le haut des rigoles de coulée conduit principalement à une production accrue de particules en raison d'une disponibilité plus élevée de l'oxygène.

Dans les cas où les rigoles de coulée sont couvertes par des couvercles et les particules sont évacuées et traitées, le paramètre le plus important est l'efficacité de l'évacuation. Il convient d'accorder une attention particulière à la couverture des rigoles de coulée. Les couvercles des rigoles de coulée doivent être soigneusement fixés afin d'obtenir un système étanche. L'évacuation efficace au niveau du trou de coulée des particules générées est difficile en raison de l'espace nécessaire à l'utilisation de la foreuse pour le trou de coulée et de la boucheuse de la conduite circulaire qui alimente les tuyères et entoure le haut fourneau à hauteur des étalages. Habituellement, un débit très important est nécessaire afin d'évacuer efficacement les particules produites à proximité du trou de coulée.

Les principaux points d'évacuation dans la halle de coulée sont

- le trou de coulée,
- l'écumoire de laitier,
- la rigole de coulée inclinée (chargement de la poche tonneau).

Le débit du gaz d'évacuation (gaz résiduaire) est de 1 200 à 3 300 Nm^3/t de fonte brute. Grâce à un système de collecte et de réduction efficace des poussières (p.ex. filtre à manche), des facteurs d'émissions inférieurs à 10 g/t de fonte brute peuvent être atteints [InfoMil, 1997]. L'efficacité de la collecte des poussières et l'efficacité de dépoussiérage des filtres en tissu peuvent excéder 99 % [InfoMil, 1997].

Applicabilité : La couverture des rigoles de coulée et l'évacuation et le lavage consécutifs peuvent être mis en œuvre dans les installations nouvelles ou déjà existantes.

Effets croisés : La mise en œuvre de l'évacuation et du traitement des gaz requiert un supplément d'énergie car elle nécessite des ventilateurs puissants. D'après [InfoMil, 1997], une consommation d'énergie de l'ordre de 0,007 GJ/t de fonte brute peut être calculée sur la base d'une production annuelle de fonte brute de 3 Mt par haut fourneau 7 pour 8 640 heures d'exploitation.

Les poussières récupérées ont une teneur importante en fer et peuvent être recyclées dans les installations d'agglomération.

Installations de référence :

Evacuation et traitement des gaz :

Hauts fourneaux 7, Hoogovens IJmuiden, NL-IJmuiden ; haut fourneau A, Voest Alpine, A-Linz ; haut fourneau Schwelgern, Thyssen AG, D-Duisburg

Données opérationnelles : La technique décrite est appliquée sans problème notable

Aspects économiques : À Hoogovens, les investissements pour un système de filtre en tissu traitant 690 000 Nm³/h devraient se situer entre 1 et 2,3 millions ECU₁₉₉₆. Cela ne comprend que l'équipement du filtre en tissu. La couverture de la rigole de coulée et l'installation de l'évacuation ne sont pas comprises dans ce schéma.

Les coûts opérationnels peuvent être estimés entre 0,5 à 2,8 ECU₁₉₉₆/t de fonte brute, sur la base d'une production annuelle de 3 Mt de fonte brute par haut fourneau 7 pour 8 640 heures d'exploitation [InfoMil, 1997].

Les coûts d'installation pour British Steel, UK-Scunthorpe (haut fourneau de 1 million t/an), d'un système de dépoussiérage de la halle de coulée s'élevaient approximativement à 4,0 M ECU₁₉₉₇.

Les coûts d'installation d'un système de dépoussiérage de la halle de coulée au haut fourneau A de Voest Alpine, A-Linz (haut fourneau d'environ 3 millions t/an), étaient approximativement de 14,5 M ECU₁₉₉₆. Les coûts d'exploitation (hors énergie) s'élèvent chaque année à environ 0,42 million ECU₁₉₉₆.

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

EP.3 Suppression des fumées pendant la coulée

Description : EP2 décrit les systèmes de dépoussiérage traditionnels des émissions de la halle de coulée. Ces systèmes sont assez complexes et coûteux. De nouvelles approches empêchent le fer en fusion de réagir avec l'oxygène atmosphérique et de former de la « fumée rousse » (élimination de la fumée). L'ensemble du trajet d'acheminement de la fonte liquide, depuis le trou de coulée jusqu'à la poche tonneau en passant par divers points de distribution et de transfert, est pour cela encloisonné au moyen de structures isolantes conçues spécialement à cet effet. L'espace entre le métal en fusion et les couvercles est restreint autant que possible et inondé (si nécessaire) avec de l'azote (gaz inerte). Dans les aciéries intégrées, il est possible d'utiliser à cet effet l'azote produit par la séparation de l'air pour la génération d'oxygène.

Cette nouvelle méthode évite l'installation et l'exploitation de systèmes d'évacuation et de filtration complexes et coûteux auparavant nécessaires, et permet ainsi de réaliser des économies considérables. Les coûts liés au recyclage de filtre sont eux aussi réduits.

Un système d'évacuation est nécessaire au niveau du trou de coulée.

La figure 7.11 montre la quantité de poussières générée pendant l'enfournement de fonte liquide avec et sans élimination de la poussière. Ces chiffres sont 100 fois moins élevés lorsque l'on a recours à l'inertage à l'azote.

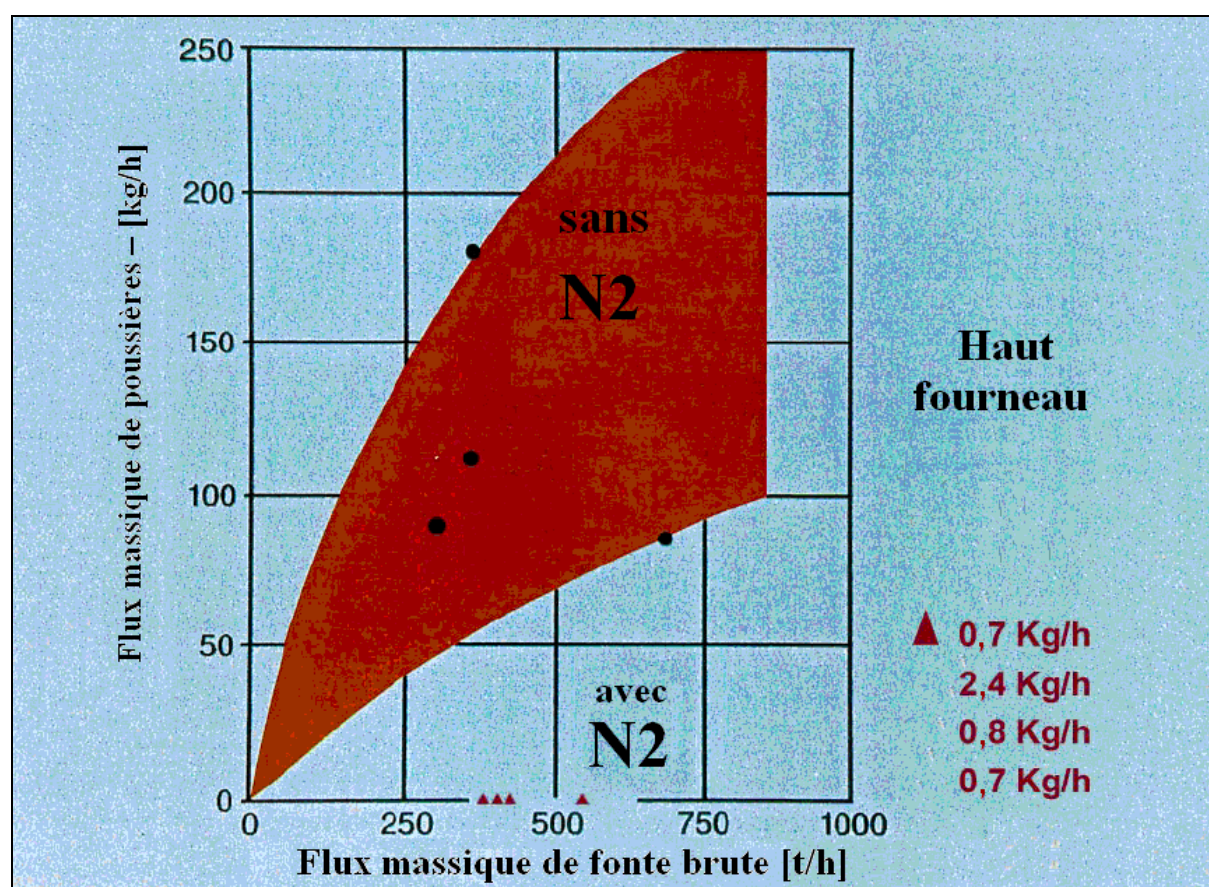


Figure 7.11 : Production de poussières avec et sans inertage à l'azote pendant l'enfournement de fonte liquide (au niveau de la poche tonneau) en fonction du débit de fonte brute – [de Haas, 1997]

Principaux niveaux d'émission atteints : Pendant une coulée normale, 0,4 à 1,5 kg de poussière/t de fonte brute est produite (Tableau 7.1). Cette quantité est réduite par la suppression de poussières à environ 0,012 kg de poussière/t de fonte brute [de Haas, 1997]. La figure 7.12 montre les effets de la suppression de poussières pendant l'enfournement de fonte liquide dans la poche tonneau.



Figure 7.12 : Enfournement de fonte liquide dans la poche tonneau avec la suppression de poussière par gaz inerte – [Haas, 1997].

Applicabilité : Applicable tant dans les nouvelles que dans les anciennes installations.

Effets croisés : Pas d'effets croisés notables par rapport aux systèmes de dépoussiérage traditionnels décrits en EP.2.

Installations de référence : À Stahlwerke Bremen, D-Bremen, cette technique de suppression des fumées est utilisée depuis 1991.

Données opérationnelles : L'expérience de la suppression des fumées à Stahlwerke Bremen fait état de conditions de fonctionnement constantes sans problème particulier.

Aspects économiques : La figure 7.13 montre une comparaison des coûts. Cette nouvelle technique de suppression des fumées a un coût bien plus faible. L'installation de Stahlwerke Bremen avec une

production de 3 Mt de fonte brute par an a nécessité un investissement de 6,8 millions ECU₁₉₉₆ comprenant la suppression des fumées et le dépoussiérage du trou de coulée et un filtre à manche.

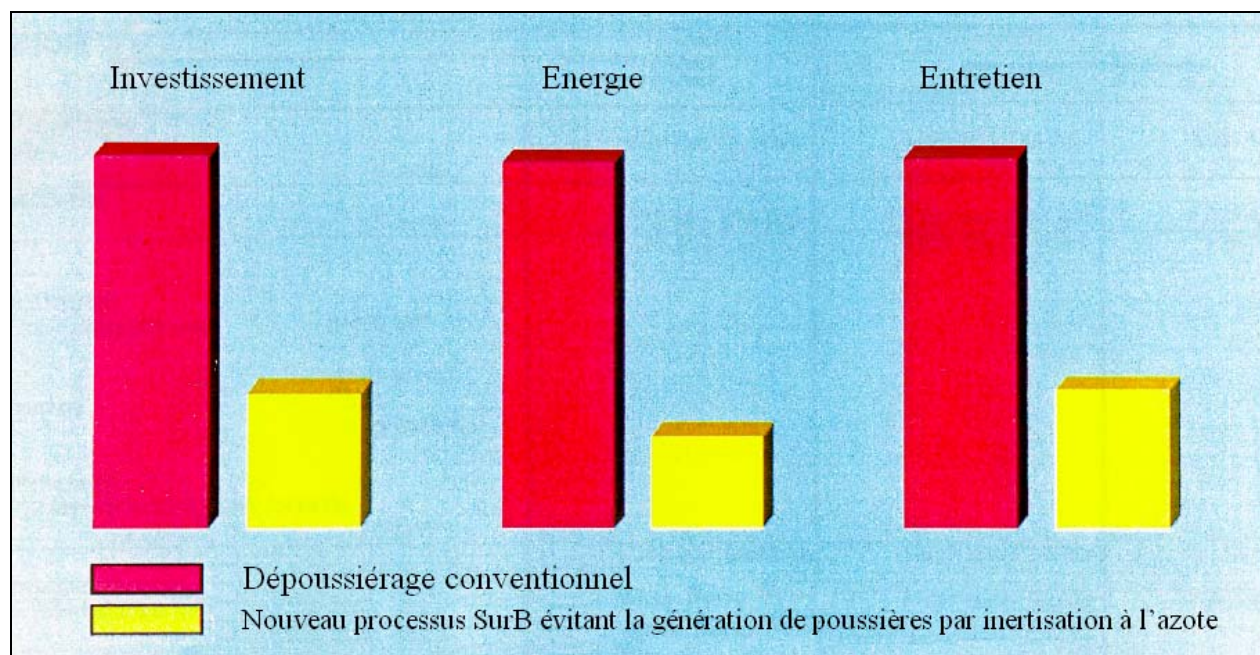


Figure 7.13 : L'installation de Stahlwerke Bremen avec une production de 3 Mt de fonte brute par an a nécessité un investissement de 6,8 millions ECU₁₉₉₆ comprenant la suppression des fumées et le dépoussiérage du trou de coulée et un filtre à manche.

Les coûts en énergie représentent environ 190 000 €/an et les coûts de maintenance environ 170 000 €/an. Ce qui est également bien moins élevé que les systèmes traditionnels. Les coûts en azote peuvent néanmoins varier selon les circonstances locales.

Documents de référence : [Grützmacher, 1991 ; de Haas, 1997]

EP.4 Hydrocyclonage des boues de haut fourneau

Description : Le gaz de gueulard contient d'importantes quantités de particules (7 à 40 kg/t de fonte brute – voir tableau 7.3). Une grande partie de ces particules est éliminée pendant la première phase du système de traitement du gaz de haut fourneau. Cette partie est principalement constituée de gros matériau ayant une teneur élevée en carbone et est recyclée dans l'installation d'agglomération.

Le reste (1 à 10 kg/t de fonte brute) est séparé du gaz de haut fourneau par épuration par voie humide. Pendant la précipitation, 3 à 5 kg de boue par tonne de fonte brute sont générés. La boue a une teneur en zinc (Zn) relativement élevée. Cela représente un obstacle à la réutilisation de la boue dans l'installation d'agglomération.

L'hydrocyclonage de la boue permet de produire une boue riche en zinc et une autre pauvre en zinc. Le zinc est essentiellement présent sous forme de très petites particules d'oxyde de zinc (ZnO) (voir 7.2.2.2.2). L'hydrocyclonage concentre ces petites particules dans la surverse, tandis que la partie pauvre en zinc quitte les cyclones à travers la sousverse. Il convient de noter que l'efficacité de l'hydrocyclonage dépend des propriétés de la boue.

La boue issue de la sousverse est réutilisée dans l'installation d'agglomération. Cette réutilisation doit être rapportée à la quantité totale de zinc entrant dans le haut fourneau. La boue riche en zinc issue de la surverse est stockée en attente de futures possibilités de traitement ou est enfouie. Les composants radioactifs, qui demeurent de préférence dans la fraction fine, peuvent engendrer des problèmes supplémentaires.

Principaux niveaux d'émission atteints : Les teneurs en zinc et en plomb des boues sont indiquées dans le tableau 7.1.

	Production de boue (kg/t fonte brute)	Teneur en Zn (%)	Poids sec (%)	Traitement
Boue non traitée	1,0-9,7	0,1-2,5	100	Hydrocyclonage
Hydrocyclonage surverse	0,2-2,7	1-10	20-40	Stockage de réserve/enfouissement
Hydrocyclonage sousverse	0,8-7,8	0,2-0,6	60-80	Recyclage vers l'installation d'agglomération

Tableau 7.12 : Exemple de la teneur en zinc de la boue de gaz de haut fourneau après hydrocyclonage – tiré de [Pazdej, 1995 ; InfoMil, 1997]

Applicabilité : L'hydrocyclonage peut être mis en œuvre dans les nouvelles et les anciennes installations en tant que technologie de fin de cycle, à chaque fois que le dépoussiérage par voie humide est appliqué, là où la répartition de la dimension du grain permet une séparation raisonnable.

Effets croisés : Une petite quantité d'énergie non quantifiée est consommée durant le fonctionnement des cyclones.

Installations de référence : Hoogovens IJmuiden, NL- IJmuiden ; Thyssen AG, D-Duisburg

Données opérationnelles : Le système fonctionne sans problème.

Aspects économiques : [UBA Rentz, 1996] constate que les coûts d'investissement d'une installation à trois étapes d'une capacité de 20 000 t/an s'élève à 2 millions ECU₁₉₉₄ et que les coûts d'exploitation sont de 25 ECU/t.

Documents de référence : [Pazdej, 1995 ; UBA Rentz, 1996]

EP.5 Traitement et réutilisation des eaux de lavage

Description : Le gaz de haut fourneau est habituellement lavé dans des dépoussiéreurs conçus à cet effet : dépoussiéreur à chicanes, épurateur de Venturi ou dépoussiéreur à col annulaire (voir également EP.1). Cela génère un flux d'eau contenant des matières en suspension (1 à 10 kg/t de fonte brute ; y compris des métaux (lourds)), du cyanure et du phénol. Des mesures peuvent être prises pour réduire les déversements dans l'eau et diminuer la consommation d'eau.

Afin d'extraire les agents polluants du gaz de haut fourneau, environ 0,3 à 4,0 l/Nm³ sont nécessaires. Ce chiffre équivaut à une consommation brute d'eau de 0,4 à 8 m³/t de fonte brute. Une grande partie de cette eau peut être traitée et recyclée.

Le traitement est habituellement réalisé dans des cuves de décantation circulaires. Les propriétés de sédimentation de la boue sont souvent améliorées par le dosage de flocculants (polyélectrolytes anioniques, polymères mixtes ou acides siliciques activés) ou dans des installations de traitement des boues par contact. Il convient d'être attentifs au pH et à la dureté de l'eau. Les données opérationnelles issues de 7 installations allemandes de traitement des boues par contact sont disponibles dans le tableau 7.13.

Installation n°	Débit de gaz de haut fourneau [103 Nm ³ /h]	Débit d'eau [m ³ /h]	Composition des matières en suspension [en mg/l]		Flocculants		Teneur en eau de la boue [%]	Consommation d'électricité [kWh/1000m ³]
			Avant traitement	Après traitement	Type	Dosage [mg/l]		
1	50	225-375	1000-3000	10-50	Acide silicique activé	5-10	60-85	40
2	250	1500	500	50	Polymérisation mixte	0,4	85-90	17,8
3	55	500	300-600	20	Acide silicique activé	6	75-85	-
4	550	50	100-300	20-30	Acide silicique activé	-	85-95	8
5	225	1100	260	10	Polyélectr. anionique	0,13	63	27,5
6	320	1400	430	13	Polyélectr. anionique	0,13	60	21,5
7	125	800	150	20	Polymérisation mixte	10	60	-

Tableau 7.13 : Données opérationnelles issues de 7 installations allemandes de traitement par contact des boues des eaux de lavage du gaz de haut fourneau – [Theobald, 1988]

Selon les conditions opérationnelles du haut fourneau, un traitement au cyanure peut être nécessaire, en particulier pendant les mises à l'arrêt. En attendant, cela est principalement réalisé par l'addition de formaldéhyde au circuit d'eau de lavage (Figure 7.14). L'expérience disponible indique que :

- le pH optimal se situe entre 8 et 9 ;
- il n'y a pas de réaction avec un pH inférieur à 7 ;
- le glyconitrile est décomposé à un pH supérieur à 10 en cyanure et en formaldéhyde.

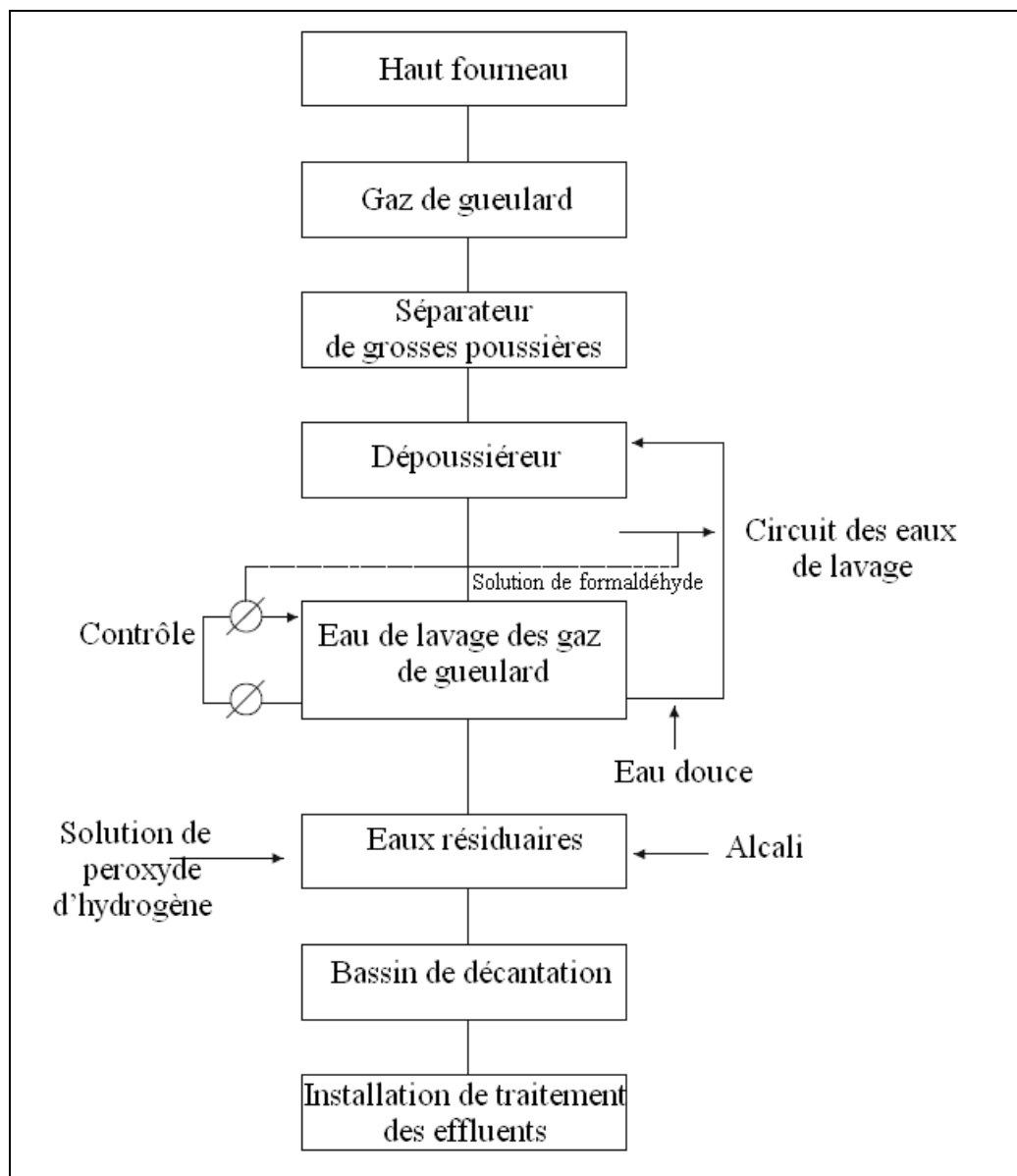


Figure 7.14 : Exemple de processus pour le traitement au cyanure du circuit d'eau de lavage dans les hauts fourneaux – [Theobald, 1997]

La boue issue de la précipitation des particules fines présente une teneur relativement élevée en zinc (voir tableau 7.6 et peut être traitée par hydrocyclonage (voir également EP.4).

Un nouveau concept de traitement des eaux usées est en train d'être mis en place à Hoogovens IJmuiden, NL-IJmuiden, et fonctionnera en 1999. Il consiste en un traitement combiné des eaux usées issues de l'installation du four à coke, des hauts fourneaux et du dépoussiéreur fin dans les installations de pelletisation au sein d'un système de boue activée avec prédénitrification et nitrification destiné à réduire les émissions de COD et de composés azotés.

Principaux niveaux d'émission atteints : Il est possible d'obtenir une efficacité élevée du recyclage des eaux de lavage avec une surverse de seulement 0,1 m³/t de fonte brute. Cette eau est éliminée du système avec la boue du haut fourneau et peut subir d'autres traitements.

Paramètre	Unité	Valeur moyenne	Unité	Facteur d'émission
Débit	[m ³ /d]	3387	[m ³ /t fonte brute]	0,23
COD	[mg/l]	51	[g/t fonte brute]	11,7
CN ^{-*1}	[mg/l]	0,7	[g/t fonte brute]	0,06
Kjeldahl-N	[mg/l]	133	[g/t fonte brute]	30
Sulphide (H ₂ S)	[mg/l]	2,2	[g/t fonte brute]	0,5
Matières en suspension	[mg/l]	16,1	[g/t fonte brute]	3,7
Zinc (Zn)	[µg/l]	1051	[mg/t fonte brute]	242
Cuivre (Cu)	[µg/l]	12,7	[mg/t fonte brute]	3,0
Chrome (Cr)	[µg/l]	33,4	[mg/t fonte brute]	7,6
Cadmium (Cd)	[µg/l]	0	[mg/t fonte brute]	0
Nickel (Ni)	[µg/l]	39	[mg/t fonte brute]	8,9
Plomb (Pb)	[µg/l]	89	[mg/t fonte brute]	18,3
Mercure (Hg)	[µg/l]	< 0,1	[mg/t fonte brute]	0,02
Arsenic (As)	[µg/l]	5,7	[mg/t fonte brute]	1,3
HAP-EPA	[µg/l]	3,1	[mg/t fonte brute]	0,71

*1 Cyanure libre ;
valeurs issues de [Weigel, 1998]

Tableau 7.14 : Exemple d'eaux usées rejetées par le circuit d'eau de lavage de haut fourneau après traitement – [InfoMil, 1997]

Applicabilité : Tant les nouvelles que les anciennes installations peuvent mettre en œuvre le traitement et le recyclage des eaux de lavage. Les installations modernes ont un avantage important, puisqu'elles peuvent être conçues avec un circuit d'eau de lavage efficace. La salinité des eaux de lavage influe sur le taux de recyclage. Il est néanmoins possible de mettre en place un circuit d'eau de lavage efficace dans les installations anciennes.

Effets croisés : Lorsque de grandes quantités d'eau sont recirculées, il convient de mettre en œuvre un traitement efficace de l'eau afin d'éviter que des problèmes opérationnels influant sur les dépoussiéreurs interviennent (engorgement etc.) et entraînent une baisse de l'efficacité de lavage. Le traitement et le recyclage de l'eau génèrent une boue riche en zinc. Une légère surverse issue du circuit est nécessaire afin d'éviter l'accumulation de minéraux/sel.

Le recyclage des eaux de lavage nécessite une importante quantité d'énergie (voir tableau 7.13). Il convient en outre de prendre en considération le dosage des flocculants.

Installations de référence : Krupp Hoesch Stahl, D-Dortmund; Hoogovens IJmuiden, NL- IJmuiden.

Aspects économiques : L'investissement total pour le traitement des eaux usées de haut fourneau à Hoogovens IJmuiden s'élève à environ 18 millions ECU₁₉₉₆. Le traitement des eaux usées comprend la séparation des matières en suspension (deux étapes) et la correction du pH. Les coûts opérationnels ne sont pas connus.

Documents de référence : [InfoMil, 1997 ; Theobald, 1997 ; Theobald, 1988]

EP.6 Condensation des fumées issues du traitement du laitier

Description : Comme indiqué en 7.2.2.1.5, le traitement du laitier provoque des émissions de H_2S et de SO_2 . Cela peut causer des problèmes d'odeur. Afin de résoudre ce problème, certaines installations de granulation fonctionnent avec une condensation des fumées (Figure 7.15). Le condensat et l'eau d'évacuation du laitier circulent après le refroidissement.

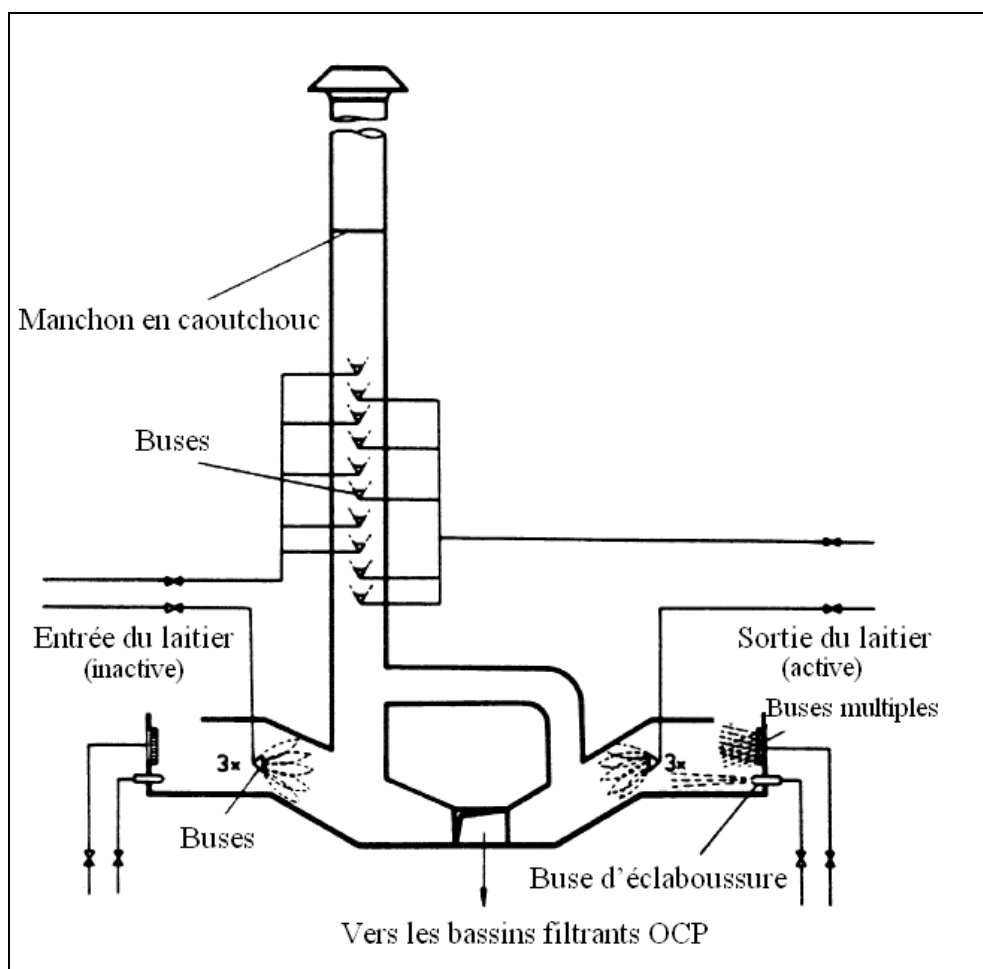


Figure 7.15 : Granulation du laitier de haut fourneau avec condensation des fumées – [Poth, 1985]

Principaux niveaux d'émission atteints : Grâce à la condensation des fumées, les émissions de H_2S sont inférieures à 10 g de H_2S / t de fonte brute produite. Selon le tableau 7.2, des émissions de 1 g H_2S /t de fonte brute peuvent être atteintes.

Applicabilité : Applicable tant dans les nouvelles que dans les anciennes installations.

Effets croisés : Le refroidissement de l'eau de circulation nécessite des quantités d'énergie considérables. La production d'énergie est souvent liée aux émissions de soufre. Pendant la condensation des fumées, la quantité absolue de soufre réduit est relativement faible et peut être comparée à la quantité émise pendant la production d'énergie.

Installations de référence : Plusieurs installations de granulation du laitier en Allemagne sont équipées de système de condensation des fumées, comme Thyssen AG, D-Duisburg.

Aspects économiques : Non disponibles

Documents de référence : Non disponibles

7.4 Conclusions

Pour comprendre ce chapitre et son contenu, il est conseillé au lecteur de se reporter à la préface de ce document, et en particulier au chapitre 5 de cette dernière, « Comment comprendre et utiliser ce document ». Les techniques et leurs niveaux (ou fourchettes de niveaux) associés d'émission ou de consommation exposés dans le présent chapitre ont été évalués au moyen d'un processus itératif comportant les étapes suivantes :

- recensement des principaux problèmes environnementaux du secteur (à savoir, pour les hauts fourneaux, le confinement, le traitement et l'utilisation des gaz de hauts fourneaux, les fumées issues de la coulée et la gestion du laitier) ;
- étude des techniques les mieux adaptées à la résolution de ces problèmes majeurs ;
- identification des meilleurs niveaux de performance sur le plan environnemental en se basant sur les données disponibles dans l'Union européenne et dans le monde entier ;
- étude des conditions dans lesquelles ces niveaux de performance ont été atteints, telles que les coûts, les effets croisés, ou les moteurs de la mise en œuvre de ces techniques ;
- sélection des meilleures techniques disponibles (MTD) et des niveaux (ou fourchettes de niveaux) d'émission ou de consommation qui leur sont associés pour ce secteur, au sens général, conformément à l'article 2, paragraphe 11 et à l'annexe IV de la directive.

L'avis des experts du bureau européen de l'IPPC et du Groupe de travail technique (TWG) concerné a joué un rôle capital, à chacune de ces étapes comme en ce qui concerne la présentation de l'information dans le présent document.

Sur la base de cette évaluation, le présent chapitre expose les techniques et, dans la mesure du possible, les niveaux de consommation et d'émissions associés à l'utilisation des MTD, qui sont considérés comme adaptés au secteur dans son ensemble. Dans bien des cas, ils reflètent les performances actuelles de certaines installations de ce secteur. Lorsque des niveaux de consommation ou d'émission « associés à l'utilisation des meilleures techniques disponibles » sont présentés, cela signifie que ces niveaux correspondent aux performances environnementales à laquelle il est possible de s'attendre en cas d'application dans le secteur considéré des techniques décrites, compte tenu des coûts et des avantages inhérents à la définition des MTD. Toutefois, ce ne sont pas des valeurs limites de consommation ou d'émissions et elles ne doivent en aucun cas être considérées comme telles. Certaines techniques peuvent, dans des cas bien particuliers, permettre d'atteindre de meilleurs résultats en matière de niveaux de consommation ou d'émission mais, du fait des coûts encourus ou des effets croisés qu'elles impliquent, elles ne peuvent pas être considérées comme des MTD pour le secteur dans son ensemble. Toutefois, on peut considérer, dans certains cas spécifiques où il existe des éléments moteurs particuliers, qu'il est justifié d'atteindre ces niveaux.

Les niveaux de consommation et d'émission associés à l'utilisation des MTD doivent toujours être envisagés en association avec des conditions de référence bien précises (périodes de calcul des moyennes, par exemple).

Il faut distinguer la notion de « niveaux associés à l'utilisation des MTD » expliquée ci-dessus de la notion de « niveau réalisable » qui apparaît ailleurs dans le présent document. Lorsqu'il est question d'un niveau « réalisable » au moyen d'une technique ou d'une combinaison de techniques données, cela signifie que l'on peut s'attendre, en utilisant ce type de techniques, à atteindre ce niveau sur une période durable dans un processus ou une installation bénéficiant de bonnes conditions d'entretien et d'exploitation.

Lorsqu'elles étaient disponibles, les données relatives aux coûts ont été indiquées dans le chapitre précédent, en même temps que la description des techniques. Elles permettent d'avoir une idée approximative des coûts. Toutefois, le coût réel de l'utilisation d'une technique dépendra étroitement de la situation en matière de taxes et de redevances, par exemple, et des caractéristiques techniques de l'installation concernée. Ces facteurs spécifiques à chaque site ne peuvent pas être évalués de manière exhaustive dans le présent document. En l'absence de données relatives aux coûts, les conclusions sur la viabilité économique des techniques sont établies à partir des observations faites sur les installations existantes.

Les MTD citées dans le présent chapitre sont destinées à servir de référence pour l'évaluation de la performance actuelle d'une installation existante ou d'un projet de nouvelle installation. Elles aideront ainsi à définir des conditions d'autorisation appropriées à chaque installation sur la base des MTD. On prévoit que les nouvelles installations pourront être conçues de manière à obtenir des performances d'un niveau équivalent aux niveaux généraux associés aux MTD présentés dans ce document, voire plus élevé. Il est également admis que les installations existantes parviendront à atteindre les niveaux généraux liés à l'utilisation des MTD, voire à les dépasser.

Bien que les documents de référence pour les MTD (BREF) ne fixent pas de normes juridiquement contraignantes, ils sont destinés à fournir des orientations à l'usage de l'industrie, des Etats membres et du public en ce qui concerne les niveaux d'émissions et de consommation pouvant être atteints au moyen de techniques spécifiques. Les valeurs limites appropriées dans d'éventuels cas particuliers devront être déterminées compte tenu des objectifs de la directive IPPC et des considérations locales.

Dans le cas des hauts fourneaux, les techniques ou combinaisons de techniques suivantes sont considérées comme MTD. L'ordre des priorités et le choix des techniques varieront en fonction des circonstances particulières. Toute autre technique ou combinaison de techniques permettant d'atteindre ou de dépasser ce niveau de performance ou d'efficacité est également à envisager ; il est également possible que de telles techniques soient en cours de développement, émergentes ou déjà disponibles mais ne soient pas mentionnées ou décrites dans ce document.

1. récupération des gaz de haut fourneau,
2. injection directe d'agents réducteurs,

l'injection de charbon pulvérisé à raison de 180kg/t de fonte brute, par exemple, a déjà été testée avec succès, mais des taux d'injection supérieurs pourraient être atteints,

3. récupération de l'énergie de détente des gaz de haut fourneau lorsque les conditions préalables sont réunies,
4. Cowpers :
 - possibilité d'atteindre une concentration de poussières dans les rejets inférieure à 10 mg/Nm³ et de NO_x inférieure à 350 mg/Nm³ (associées à une teneur en oxygène de 3 %),
 - économies d'énergie lorsque la conception le permet,
5. emploi de revêtements de la rigole de coulée sans goudron,
6. traitement des gaz de haut fourneau avec dépoussiérage efficace ;

Il est préférable d'éliminer les particules par des techniques de séparation à sec (déflecteur, par exemple) et de les réutiliser. Les particules fines sont ensuite éliminées :

- par dépoussiéreur *ou*
- par séparateur électrostatique *ou*
- par toute autre technique offrant une même efficacité d'élimination,

7. dépoussiérage de la halle de coulée (trous et rigoles de coulée, écumoirs de laitier, points de chargement de la poche tonneau),

les rejets doivent être réduits au minimum en couvrant les canaux de coulée, en évacuant les sources d'émission mentionnées et en les purifiant par filtration sur tissu ou par séparation électrostatique. Des taux d'empoussièrment de 1 à 15 mg/Nm³ peuvent être obtenus. En ce qui concerne les émissions fugaces, un empoussièrment de 5 à 15 g de poussières par tonne de fonte brute peut être atteint. De ce fait, l'efficacité du captage des fumées est importante.

Élimination des fumées par l'emploi d'azote (dans les cas spécifiques, c'est-à-dire lorsque la conception de la halle de coulée le permet et que de l'azote est disponible),

8. traitement des eaux usées issues du lavage des gaz de haut fourneau :

a. réutilisation maximale des eaux de lavage,

b. coagulation ou sédimentation des matières en suspension (en moyenne annuelle, une quantité résiduelle de matières en suspension inférieure à 20 mg/l peut être atteinte, même si ponctuellement une valeur journalière peut atteindre 50 mg/l),

c. hydrocyclonage des boues et réutilisation de la fraction grossière là où la répartition de la dimension du grain permet une séparation raisonnable.

9. réduction au minimum des émissions au traitement du laitier et de leur mise en décharge ;

Lorsque les conditions du marché le permettent, le traitement du laitier par granulation est privilégié.

Condensation des fumées lorsqu'une atténuation des odeurs est requise.

Lorsque du laitier de fosse est produit, il convient de réduire tant que possible ou d'éviter, dans la mesure du possible et lorsque l'espace disponible le permet, le refroidissement à l'eau,

10. réduction au minimum des déchets et des sous-produits solides.

Dans le cas des déchets solides, les techniques suivantes sont considérées comme MTD, par ordre de priorité décroissant :

réduction au minimum de la production de déchets solides,

utilisation efficace (recyclage ou réemploi) des déchets et des sous-produits solides ; en particulier, recyclage des grosses poussières provenant du traitement des gaz de haut fourneau et des poussières de halle de coulée, réutilisation complète du laitier (par exemple dans les cimenteries ou dans la construction routière),

rejet contrôlé des déchets et des sous-produits inévitables (fraction fine de boues résultant du traitement des gaz de haut fourneau, une partie des granulats).

En principe, compte tenu de la préface et pour autant que les conditions de départ soient remplies, les techniques mentionnées aux points 1 à 10 sont applicables aussi bien aux nouvelles installations qu'aux installations déjà existantes.

7.5 Techniques émergentes et développements futurs

Bien que le haut fourneau soit le procédé le plus employé pour la production de fer, d'autres méthodes de production de la fonte sont en cours de développement et l'une d'entre elles fait déjà l'objet d'une application commerciale (Corex). Ces méthodes de « fusion réduction » ont toutes recours au charbon au lieu du coke comme carburant principal et certaines remplacent également les pellets et l'aggloméré par du minerai de fer pulvérisé. Si elles autorisent la réalisation d'unités de production sidérurgique fiables, de haute qualité et bon marché, elles révolutionneront la production de fer primaire. Nous décrivons ces technologies alternatives plus en détail ci-dessous

Toutefois, avec plusieurs centaines d'unités en activité de par le monde, le haut fourneau demeure l'unité de production de fonte brute la plus courante. Riche d'une longue histoire, la technologie du haut fourneau est à présent en mesure de fournir des réacteurs extrêmement efficaces et écoénergétiques. L'injection de carbone au niveau de la tuyère a redonné un nouveau souffle à cette activité. On peut mentionner le développement des techniques d'injection d'oxygène de type « oxy-coal » comme un exemple des possibilités ouvertes pour les hauts fourneaux à l'avenir.

Techniques par haute injection d'oxygène de type « oxy-coal »

Description : L'injection de charbon tend à faire diminuer les températures de canalisation. Si aucune mesure n'est prise pour contrecarrer cet effet, des taux d'injection du charbon élevé entraînent la diminution de l'efficacité de combustion et d'utilisation. Pour conserver des conditions de canalisation appropriées et faciliter une utilisation efficace du charbon ainsi que le remplacement du coke, il est nécessaire d'augmenter graduellement les températures de vent ou d'accroître l'enrichissement en oxygène du vent à mesure de l'augmentation de l'injection de charbon.

Pour des raisons techniques, la méthode traditionnelle de chauffage des vents dans des cowpers régénératifs ne permet d'atteindre qu'une température de 1 200 °C, suffisante pour l'injection d'une quantité de charbon pouvant aller jusqu'à 150 kg/t de fonte brute. Deux méthodes permettent d'accroître les taux d'injection de carbone :

1. le recours à des températures de vent plus élevées au moyen de la surchauffe du vent par plasma électrique :

Cette méthode n'est viable économiquement que dans les régions où l'énergie électrique est bon marché. Des tests ont été réalisés en France, où, grâce aux centrales nucléaires, l'électricité a un coût réduit,

2. l'enrichissement du vent en oxygène :

De l'oxygène issu d'une installation de séparation de l'air peut venir enrichir le vent avant qu'il n'arrive dans les cowpers ou être injecté au niveau de la tuyère, en même temps que le charbon (injection d'oxygène de type « oxy-coal »). L'enrichissement en oxygène avant les cowpers pouvant engendrer des problèmes techniques et de sécurité, il est préférable de le faire au niveau des tuyères.

Principales réussites : Il est théoriquement possible d'injecter jusqu'à 400 kg de charbon par tonne de fonte brute en travaillant avec un vent hautement enrichi. Le vent doit alors être enrichi d'au moins 30 % d'oxygène (51 % dans le vent). La consommation de coke peut être nettement réduite par rapport aux niveaux actuels.

Statut : Des essais ont été réalisés dans des installations pilotes et des hauts fourneaux commerciaux. La validité du principe est déjà démontrée, et les expériences visent maintenant à atteindre un fonctionnement le plus stable possible et une gazéification suffisante du charbon.

Documents de référence : [Campbell, 1992; Ponghis, 1993].

Réduction des émissions de CO pour les cowpers équipés d'une chambre de combustion interne

Description : Les deux principales sortes de cowpers (avec ou sans chambre de combustion externe) sont décrites en 7.1.2. Dans le cas des chambres de combustion internes, des fissures dans la masse réfractaire entraînent des émissions de CO importantes (voir 7.2.2.1.1). Ces fuites, apparemment inévitables, entraînent des rejets de gaz non consommés. Toutefois, il est possible de les réduire en insérant des plaques d'acier dans le mur réfractaire durant la refecton.

Principaux niveaux d'émission atteints : L'impact des fissures (émissions de CO plus importantes) peut être considérablement amoindri. Aucune mesure réalisée avant et après l'insertion des tôles d'acier n'est disponible.

Statut : Cette mesure a déjà été introduite dans une aciérie intégrée de l'Europe des Quinze.

Récupération de la chaleur du laitier

Description : Le laitier liquide sortant du haut fourneau contient une grande quantité de chaleur sensible. Leur température est d'environ 1 450 °C et il s'en produit environ 250 à 300 kg/t de fonte brute dans les hauts fourneaux modernes. Aucun système faisant l'objet d'une exploitation à l'heure actuelle n'utilise cette source importante d'énergie. La cause principale de cette situation est la difficulté de développer un système sûr, fiable et écoénergétique sans remettre en cause la qualité du laitier.

Economies d'énergie : Les économies d'énergie estimées sont d'environ 0,35 GJ/t de fonte brute.

Statut : Des tests ont été réalisés, mais la récupération de la chaleur du laitier ne sera sans doute pas déployée sur le plan commercial dans un avenir proche.

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

8 SIDERURGIE ET COULEE A L'OXYGENE

Henry Bessemer est le premier à avoir suggéré de remplacer l'air par de l'oxygène pour la fabrication de l'acier. On a recours à l'oxygène en sidérurgie depuis 1950, quelle que soit la méthode de production employée. Avant de pouvoir mettre en place des convertisseurs à oxygène rentables à l'échelle industrielle, il fallait pouvoir disposer de la quantité souhaitée d'oxygène techniquement pur, ainsi que de la technologie de la lance refroidie à l'eau, indispensable pour l'injection de l'oxygène dans le convertisseur.

Le premier convertisseur à oxygène produit à l'échelle industrielle a été construit à Linz en 1953.

Le procédé de la conversion à l'oxygène et du four à arc ont depuis remplacé des procédés sidérurgiques moins écoénergétiques, tels que le procédé Thomas et le procédé Siemens-Martin (Bessemer, Siemens-Martin). Dans l'UE, les derniers fours Siemens-Martin ont été mis hors-service fin 1993. Les procédés de la conversion à l'oxygène et du four à arc sont les seuls à y être utilisés désormais. Les deux tiers de la production sidérurgique se font par le procédé de la conversion à l'oxygène, et le tiers restant par celui du four à arc (Europe des Quinze, 1996 – voir également la Figure 1.2).

La Figure 8.1 montre un convertisseur à oxygène pendant le chargement de la fonte.



Figure 8.1 : Convertisseur à oxygène pendant le chargement de la fonte

8.1 Procédés et techniques appliqués

L'objectif de la sidérurgie à l'oxygène est de brûler (c'est à dire d'oxyder) les impuretés indésirables contenues dans la charge métallique. Les principaux éléments transformés en oxydes sont le carbone, le silicium, le manganèse, le phosphore et le soufre. Par conséquent, le but de ce procédé par oxydation est de :

- réduire la teneur en carbone jusqu'à un certain niveau (d'environ 4 % à moins de 1 %, et souvent moins encore),
- ajuster les teneurs en éléments étrangers souhaités,
- éliminer autant que possible les impuretés indésirables.

La production d'acier par conversion à l'oxygène est un procédé discontinu comprenant les étapes suivantes :

- transfert et stockage de la fonte,
- prétraitement de la fonte (désulfuration),
- oxydation dans le convertisseur à oxygène (décarburation et oxydation des impuretés),
- traitement métallurgique secondaire,
- coulée (continue et/ou en lingotière),

La Figure 8.2 fournit un résumé des différentes étapes et des niveaux d'émission qui leur sont associés.

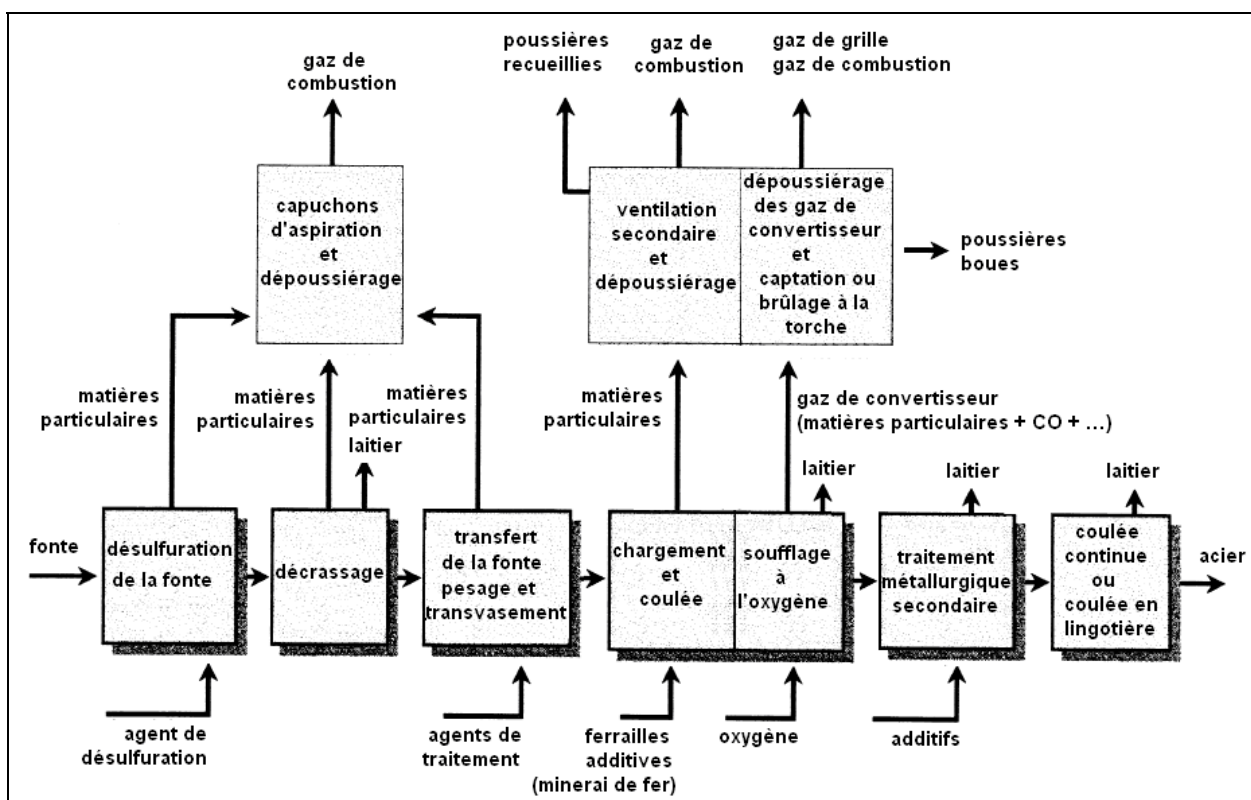


Figure 8.2 : Etapes successives de la sidérurgie à l'oxygène avec indication des différentes sources d'émission

8.1.1 Transfert et stockage de la fonte

La fonte est acheminée du haut fourneau à l'aciérie au moyen de chariots transbordeurs ou de poches tonneaux. Les poches de coulée sont recouvertes de briques de corindon, de mullite, de bauxite ou de dolomite, ainsi que d'une couche intermédiaire isolante située entre l'acier et le matériau réfractaire. La poche tonneau, qui est une sorte de mélangeur pour fonte circulant sur des rails, est le système qui s'est imposé. Le mélangeur est soutenu des deux côtés et peut pivoter pour décharger ses contenus. Les poches tonneaux ont généralement des capacités comprises entre 100 et 300 tonnes, les plus grandes pouvant aller jusqu'à 400 tonnes. Elles sont conçues pour réduire la perte thermique autant que possible. Puisque la poche tonneau joue également le rôle de mélangeur pour fonte, un système séparé de stockage du métal est inutile.

La durée d'utilisation des poches tonneaux est comprise (pour un usage normal) entre 150 000 tonnes et 400 000 tonnes traitées. Effectuer la désulfuration dans les poches de coulée réduit son cycle d'utilisation potentiel entre les refectons et nécessite une attention particulière dans le choix des matériaux réfractaires.

Quand le transport se fait dans une poche de coulée découverte, la fonte est parfois stockée dans les mélangeurs, des réservoirs orientables horizontaux en acier garnis d'un revêtement de briques réfractaires. Ils permettent de compenser les fluctuations dans la production du haut fourneau et de l'aciérie, d'harmoniser les compositions chimiques des coulées de hauts fourneaux et de garantir l'homogénéité des températures. Les mélangeurs pour fonte modernes ont des capacités pouvant aller jusqu'à 2 000 tonnes.

8.1.2 Prétraitement de la fonte

Le prétraitement de la fonte classique comporte les étapes suivantes :

- désulfuration,
- déphosphoration,
- désiliciation.

En Europe, seule l'étape de désulfuration est courante dans la préparation de la fonte pour la conversion à l'oxygène. La déphosphoration et la désiliciation de la charge impliquent la mise en œuvre de technologies coûteuses et sophistiquées. Au vu des conditions actuelles, il ne semble pas garanti de pouvoir les effectuer à l'avenir.

L'amélioration des technologies de métallurgie en haut fourneau et la réduction de la quantité de soufre apportée par les agents réducteurs ont permis de faire baisser les niveaux de soufre dans la fonte. De nos jours, les concentrations de soufre spécifiées pour le chargement dans le convertisseur (entre 0,001 et 0,020 %) sont généralement ajustées dans une installation de désulfuration de la fonte située à l'écart du haut fourneau. La désulfuration extérieure a également des effets bénéfiques en matière de protection de l'environnement. Pour un procédé en amont, on peut citer la réduction de la consommation de coke et d'aggloméré, la diminution de la production de fonte et de laitier d'aciérie, l'amélioration de la qualité du laitier métallurgique, l'augmentation de la durée de vie des revêtements réfractaires et la baisse de la consommation d'oxygène.

Parmi les agents de désulfuration connus figurent le carbure de calcium, la soude caustique, le carbonate de sodium, la chaux et les matériaux imprégnés de magnésium. Du fait des températures de fusion basses et de la miscibilité relativement élevée du produit avec la fonte qui en résulte, la désulfuration à la soude est un processus direct. Elle a toutefois comme inconvénients une faible spécificité et la nécessité de trouver un itinéraire pour l'élimination du laitier de soude produit, dont la teneur en soufre varie entre 1 et 15 % et la teneur en Na_2O entre 5 et 40 %, en fonction du processus auquel on a recours. Du fait de l'alcalinité élevée des laitiers de soude, leur recyclage au sein de l'installation est impraticable et aucune méthode de remplacement rentable n'a été trouvée à ce jour. Lorsqu'il est déversé, du fait de la présence d'eau, le sulfite de sodium se décompose en solution d'hydroxyde de sodium et en acide sulfhydrique. L'usage du carbonate de sodium étant soumis à des restrictions, il est uniquement possible d'en utiliser de petites quantités pendant l'écumage.

La méthode de désulfuration de la fonte la plus répandue en Europe actuellement repose sur le carbure de calcium, qui a remplacé la soude pour des raisons liées à l'élimination des déchets et à la gestion de la qualité de l'air. L'utilisation d'un mélange de carbure de calcium, de magnésium et de chaux permet de désulfurer la fonte jusqu'à lui faire atteindre des taux finaux inférieurs à 0,001 %, quelle que soit sa teneur initiale en soufre. Les inconvénients de cette méthode sont liés à un épuisement relativement bas de l'agent de désulfuration et à la nécessité d'un malaxage intense de ce dernier avec la fonte. Un de ses avantages est de produire du laitier friable et facile à éliminer. L'utilisation du magnésium en plus du carbure de calcium est à peu près aussi commune que l'utilisation de ce dernier seul. Il existe d'autres agents de désulfuration tels que la chaux en poudre, la chaux alliée au gaz naturel et le magnésium.

La désulfuration s'effectue au moyen d'un certain nombre de méthodes et de systèmes. Dans ses formes les plus répandues, elle s'effectue :

- dans le chenal de coulée du haut fourneau,

- dans le jet de coulée,
- dans la poche de transfert,
- dans un convertisseur métallurgique.

Parmi les équipements de désulfuration connus figurent la lance d'immersion, la poche théière, les convertisseurs rotatifs ou oscillants, ainsi que les dispositifs d'agitation destinés à être utilisés dans la poche de coulée. Le carbure de calcium est le plus souvent employé avec la lance d'immersion et la méthode du brassage. Le magnésium est ajouté dans le gaz porteur sous forme de poudre au moyen d'une lance immergée. La désulfuration s'effectue dans des stations de traitement séparées.

Voici un exemple de ce traitement : un agent de désulfuration est soufflé dans la fonte au moyen d'une lance et à l'aide d'azote. Le soufre est contenu dans le laitier, qui flotte à la surface de la fonte. Ensuite, le laitier est éliminé dans l'unité de séparation des laitiers et le fer liquide est chargé dans la fosse de pesage depuis la poche. S'il le faut, des agents de traitement sont ajoutés dans les fosses et on procède parfois à une seconde élimination du laitier au moyen de raclettes à laitier. Après le pesage, la fonte brute est chargée dans le convertisseur.

8.1.3 Oxydation dans le convertisseur à oxygène

Afin d'atteindre les objectifs mentionnés ci-dessus, on oxyde les impuretés indésirables avant de les éliminer avec les effluents gazeux ou le laitier. La figure 8.3 fait la liste des principaux processus d'oxydation survenant dans le convertisseur à oxygène. Les impuretés indésirables sont éliminées avec les effluents gazeux ou le laitier liquides. L'énergie nécessaire pour faire augmenter la température et fondre les matières premières est apportée par les réactions d'oxydation exothermiques. Aucun apport en chaleur supplémentaire n'est donc nécessaire et des ferrailles ou du minerai doivent être ajoutés pour équilibrer la température. Pour certains processus en convertisseur à oxygène ou avec soufflage combiné, des hydrocarbures gazeux (par exemple du gaz naturel) sont injectés pour refroidir la tuyère (voir Figure 8.5).

Élimination du carbone	$[C]+[O]$	$\leftrightarrow CO$ (effluents gazeux)
	$[CO]+[O]$	$\leftrightarrow CO_2$ (effluents gazeux)
Oxydation des éléments additionnels et des éléments de trace		
- Désiliciation	$[Si]+2[O]+ 2(CaO)$	$\leftrightarrow 2(CaO \cdot SiO_2)$
- Réaction du manganèse	$[Mn]+[O]$	$\leftrightarrow (MnO)$
- Déphosphoration	$2[P]+ 5[O] + 3[CaO]$	$\leftrightarrow 3(CaO \cdot P_2O_5)$
- Désulfuration	$[S] + [CaO]$	$\leftrightarrow (Cas) + [O]$
- Désoxydation		
Élimination de l'oxygène résiduel par le biais du ferrosilicium	$[Si]+2[O]$	$\leftrightarrow (SiO_2)$
aluminium	$2[Al]+ 3[O]$	$\leftrightarrow Al_2O_3$

Notes : [] dissous dans le fer
() contenu dans le laitier

Figure 8.3 : Réactions chimiques ayant lieu pendant l'oxydation

Les convertisseurs à oxygène fonctionnent de manière semi-continue. Un cycle complet est constitué des phases suivantes : chargement des ferrailles et de la fonte brute fondue, soufflage à l'oxygène, prélèvement d'échantillons, enregistrement des températures et coulée. Une aciérie moderne produit environ 300 tonnes d'acier au cours d'un cycle de 30 à 40 minutes. Un certain nombre d'additifs permettent d'ajuster la qualité de l'acier et de former le laitier. Durant le chargement et la coulée, le convertisseur est basculé et durant le soufflage à l'oxygène, il est placé en position verticale.

Plusieurs types de réacteurs sont employés pour la sidérurgie à l'oxygène. Les convertisseurs de type LD (Linz-Donawitz) sont les plus employés et sont utilisés quand la fonte brute a une faible teneur en phosphore. Si cette teneur est plus élevée, on a recours à un processus modifié (processus Linz-Donawitz/Arbed-CRM). On fait descendre dans le convertisseur, qui est un réacteur piriforme entouré de matériaux réfractaires, une lance à oxygène refroidie à l'eau à travers laquelle on souffle dans la fonte brute liquide de l'oxygène pur (à plus de 99 %) issu d'une installation de séparation de l'air (voir Figure 8.4).

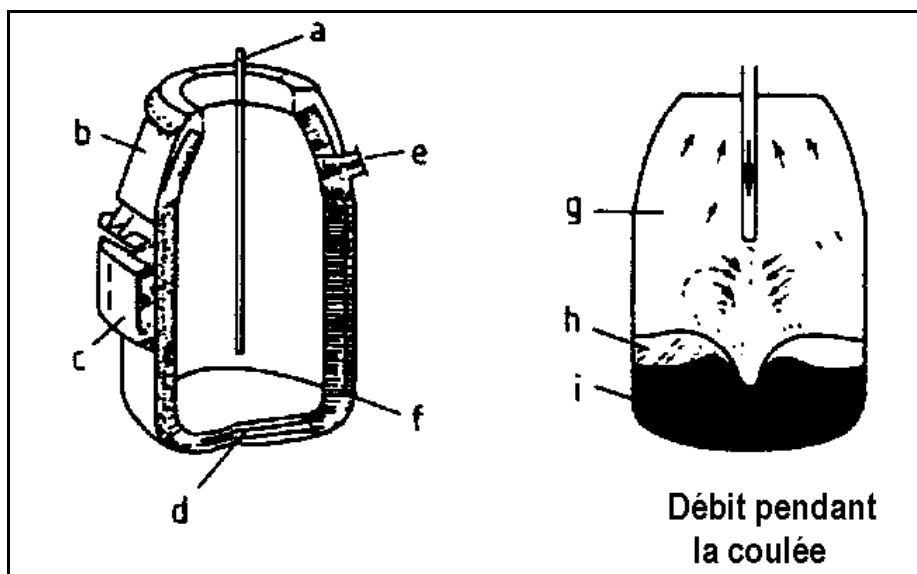


Figure 8.4 : Convertisseur à oxygène à soufflage par le haut – [Ullmann's, 1994]

a - lance à oxygène b - haut du convertisseur c - anneau de support d - bas du convertisseur
 e - trou de coulée f - revêtement réfractaire g - volume d'expansion du gaz h - couche de laitier i - fonte

D'autres types de réacteurs sidérurgiques fonctionnent selon le procédé Oxygen-Bottom-Maxhütte (OBM), Q-BOP ou Loire-Wendel-Sprunch (LWS). Ces méthodes diffèrent de la conversion Linz-Donawitz : au lieu de procéder par soufflage de l'oxygène au dessus du bain au moyen d'une lance télescopique, on souffle l'oxygène et les fondants au bas du four au travers de tuyères en immersion. (figure 8.5) [CE BOF, 1995].

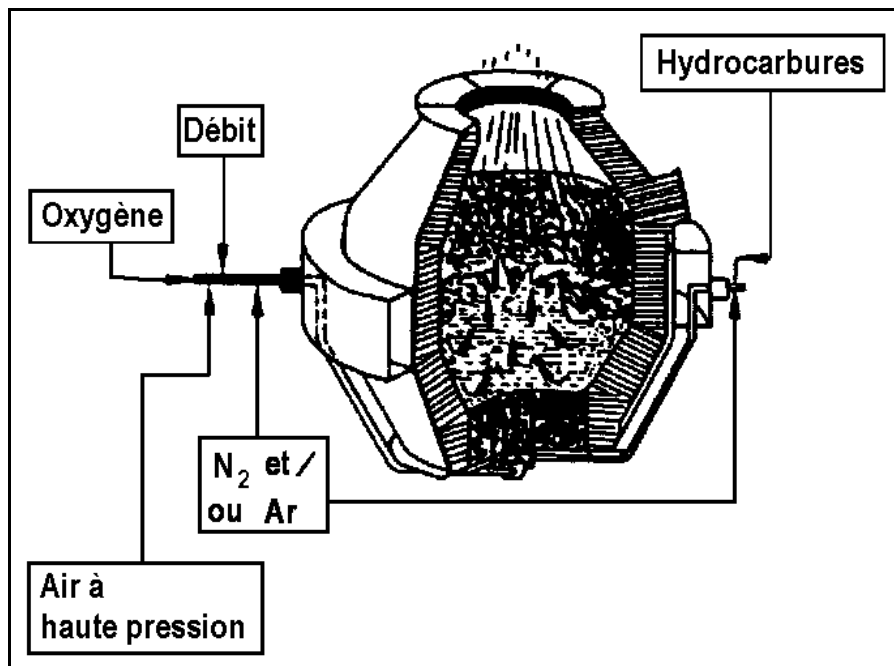


Figure 8.5 : Coupe d'un convertisseur à oxygène à soufflage par le bas (OBM) – [Ullmann's, 1994]

L'oxygène est injecté au bas de ces convertisseurs, à travers des tuyères refroidies par des hydrocarbures soufflés dans la coulée. Des méthodes de soufflage combinées ont également été développées. Si nécessaire, il est possible d'améliorer le processus grâce à un brassage par le fond par injection d'argon (Ar) ou d'azote (N₂) à travers des briques poreuses du revêtement de fond à certaines étapes du traitement. On peut également avoir recours aux tuyères du bas pour injecter de l'oxygène pur ou d'autres gaz pendant le soufflage. Cela a pour effet d'intensifier la circulation de l'acier en fusion et d'améliorer sa réaction avec l'oxygène. Les procédés LBE (lance brassage équilibre) et TBM (Thyssen-Blowing-Metallurgy) (Figure 8.6) sont les plus fréquents. Le procédé KMS (procédé d'élaboration de l'acier Klöckner-Maxhütte), au cours duquel de l'oxygène, de la chaux et du charbon sont injectés au fond, est une variante particulière.

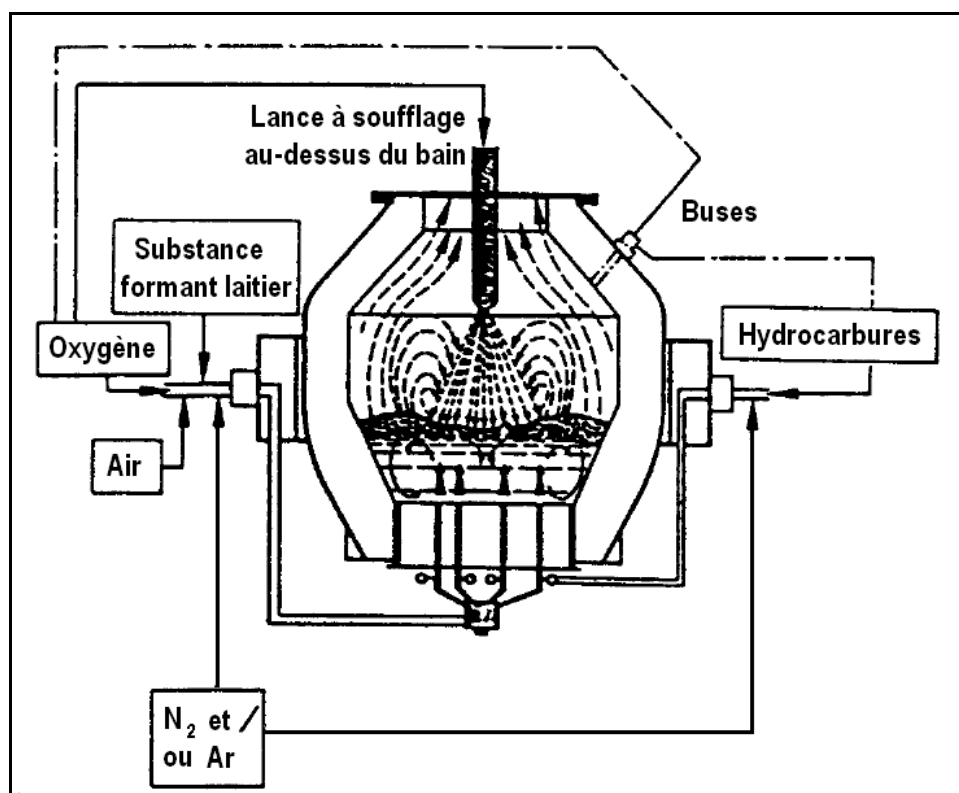


Figure 8.6 : Technique de soufflage combinée avec lance à soufflage au dessus du bain ou tuyère latérale [Ullmann's, 1994]

Le Tableau 8.1 présente un aperçu des quantités de convertisseurs à oxygène dans l'UE en fonction des procédés employés. Il apparaît clairement que le procédé LD domine.

Processus		Capacité nominale [1 000 t/an]
LD	17	12 400
LD avec brassage par le fond	44	64 960
LBE	22	27 550
OBM	5	2 780
K-OBM	1	2 200
EOF	1	400
LWS	2	2 900
Total	92	11 3210

Tableau 8.1 : Types, nombres et capacités estimées des convertisseurs à oxygènes en opération dans l'UE

La quantité d'oxygène consommée dépend de la composition de la fonte (teneur en C, SI, P).

On mesure la progression de l'élaboration de l'acier en prélevant des échantillons de métal fondu. Dans les installations modernes, ce prélèvement d'échantillons peut se faire au moyen d'une sub-lance, sans interrompre le soufflage à l'oxygène. On peut obtenir le même résultat en normalisant les procédures et/ou en ayant recours à la modélisation dynamique et à la surveillance afin de soutenir la qualité et la

productivité et de réduire les émissions de fumées durant le basculement du convertisseur. Quand la qualité de l'acier correspond aux besoins, le soufflage à l'oxygène s'arrête et l'acier brut est coulé du convertisseur dans une poche. Ensuite, après des traitements métallurgiques secondaires, l'acier en fusion est acheminé jusqu'à la machine de coulée.

Les réactions d'oxydation étant exothermiques, la température du fer fondu s'élève. Les ferrailles, le minerai de fer et différents fluides de refroidissement sont ajoutés pour refroidir la réaction et maintenir la température entre 1 600 et 1 650 °C environ. Les ferrailles représentent généralement 10 à 20 % de la charge du convertisseur. Cependant, cette proportion peut atteindre 40 % dans certains cas. La quantité de ferrailles chargée dépend du prétraitement de la fonte brute ainsi que de la température de coulée voulue pour l'acier liquide [UBA Comments, 1997], ainsi que des variations de la valeur marchande des ferrailles et des spécifications exigées pour l'acier.

Les gaz produits durant le soufflage à l'oxygène (gaz de convertisseur) contiennent d'importantes quantités de monoxyde de carbone. Dans beaucoup d'aciéries, des mesures sont prises pour récupérer le gaz de convertisseur et l'utiliser comme source d'énergie. On a recours à des systèmes soit à combustion libre soit sans combustion. Les systèmes à combustion libre injectent de l'air dans la conduite des fumées du convertisseur, ce qui entraîne la combustion du monoxyde de carbone. La chaleur générée est ensuite récupérée dans une chaudière de récupération de chaleur. Dans le système sans combustion, un bandeau est abaissé sur la bouche du convertisseur pendant le soufflage à l'oxygène, ce qui évite que l'oxygène ambiant pénètre dans la conduite des fumées et empêche ainsi la combustion du monoxyde de carbone. Les fumées, riches en monoxyde de carbone, sont recueillies et nettoyées puis stockées pour servir ultérieurement de combustible. Le principal avantage du système sans combustion est un volume de fumées moindre. En effet, il n'y a ni combustion ni injection supplémentaire d'air et d'azote. Il en résulte un accroissement de la productivité dû à la possibilité d'augmenter la vitesse du soufflage à l'oxygène.

La sidérurgie à l'oxygène génère également d'importantes quantités de particules durant le chargement des ferrailles et de la fonte, le soufflage et la coulée du laitier et de l'acier liquide. Toutes les halles d'aciéries de l'UE ont pris des mesures pour réduire les rejets de particules.

Du laitier se forme pendant la fabrication de l'acier. Le contrôle du laitier permet de réduire la quantité de substances indésirables dans la fonte et de générer du laitier de haute qualité qui pourront être traitées et utilisées par la suite.

Le laitier est généralement refroidi et concassé, après quoi le fer métallique est récupéré par séparation magnétique. Les qualités techniques du laitier en font un matériau adapté à un grand nombre d'applications dans le domaine du génie civil et hydraulique [Geiseler, 1991; Geiseler, 1992].

De par leur structure, le laitier de convertisseur LD ont une grande résistance à l'abrasion et sont souvent utilisés en construction routière [Köller, 1995]. On peut également en faire d'autres usages ou les enfouir.

8.1.4 Traitement métallurgique secondaire

Le processus d'oxydation qui a lieu dans le convertisseur est généralement suivi d'un post-traitement comprenant un certain nombre d'opérations métallurgiques. Ce traitement, qualifié de « métallurgie secondaire », a été mis au point pour répondre à des besoins de qualité toujours croissants et a permis des améliorations substantielles de la productivité en déchargeant le convertisseur des processus d'affinage métallurgique. Les objectifs principaux du traitement métallurgique secondaire sont :

- le malaxage et l'homogénéisation,

- l’ajustement des compositions chimiques à des tolérances d’analyse rapprochée,
- l’ajustement des températures à la coulée en aval,
- la désoxydation,
- l’élimination des gaz indésirables, tels que l’hydrogène et l’azote,
- l’amélioration de la pureté des oxydes par la séparation des inclusions non métalliques.

La Figure 8.7 donne un aperçu des opérations de métallurgie secondaire effectuées dans la poche de coulée ou dans le four-poche, dans un système de pompage à vide ou dans un four spécialement conçu.










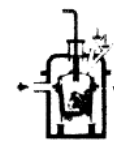

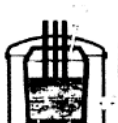




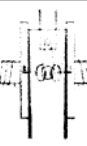

Éviter la surverse des sables de laitier	
Mélanger/homogénéifier les additifs	<div>Soufflage au gaz</div>  <div>Bouchon poreux de fond</div> <div>Lance</div>  <div>Bobine électromagnétique</div> 
Injection de substances solides	<div>Préparation des alliages additionnels</div>  <div>Gaz</div> <div>Poudre/gaz</div>  <div>Fil</div>  <div>Gaz</div>
Traitement à vide	<div>Dégazage en poche</div>  <div>RH / DH</div>  <div>VOD</div> 
Chauffage	<div>Four-poche</div>  <div>VAD</div> 
Protection jet de coulée poche/panier de coulée	<div>Gaz</div>  <div>Gaz</div>  <div>Gaz</div> 
Brassage électromagnétique lié à la coulée continue	<div>MS</div>  <div>EMBR</div>  <div>SS / FS</div> 

Figure 8.7 : Aperçu des traitements métallurgiques secondaires

Le traitement sous vide, qui est une étape importante de la métallurgie secondaire, permet principalement d'éliminer l'hydrogène, l'oxygène et l'azote gazeux, ainsi que le carbone résiduel contenus dans l'acier, le degré de vide pouvant aller jusqu'à 50 Pa. Le but de cette opération est de décarburer l'acier en fusion et de libérer les gaz qui s'y sont dissous durant le cycle de soufflage. Cela permet d'abaisser les teneurs respectives en oxygène et en azote à 0,0002 % et 0,005 % en réduisant la pression à 10 mbar. De nos jours, les opérations de traitement sous vide incluent la décarburation et la désoxydation de précision des aciers non alliés, la décarburation des nuances d'acier au chrome, l'élimination du soufre et des inclusions, ainsi que diverses mesures en matière de préparation des alliages, d'homogénéisation, de gestion de la température et de prévention de la réoxydation. Grâce à la métallurgie sous vide, nous disposons d'aciers ayant une meilleure pureté, une teneur en gaz moindre et des tolérances d'alliages plus étroites.

Les méthodes suivantes de traitement sous vide sont utilisées :

- dégazage en chevalet porte-poche ou en cuve,
- dégazage avec recirculation.

Le dégazage avec recirculation est le plus courant d'entre eux à l'heure actuelle. Cependant, le dégazage en poche revient en force.

Pour le dégazage en poche, la poche de coulée contenant le métal oxydé est placée dans un réservoir sous vide. Grâce à un apport additionnel en énergie, il est possible d'obtenir des vitesses de réactions plus élevées et de réduire la concentration finale de constituants indésirables dans le bain. Ce surplus d'agitation peut être apporté par injection d'argon au travers d'un ou de plusieurs bouchons poreux situés au fond de la poche de coulée, par homogénéisation de la coulée au moyen d'une lance ou par brassage par induction.

Selon les besoins, il est possible d'ajuster la température de la coulée par l'ajout de ferrailles à haut degré de pureté (ferrailles de refroidissement) ou de régler avec précision la composition de l'acier par l'introduction d'éléments d'alliage. Des éléments d'alliage sont ajoutés à la coulée sous forme solide ou enfermés dans un fil creux déroulé d'un dévidoir, ou encore injectés à la lance sous forme de poudres. Avant la fin du cycle de brassage, le niveau d'oxygène peut être déterminé à l'aide d'une sonde spéciale et ajusté par l'ajout de désoxydants. Pendant toute la durée du brassage, le mélange de gaz et de poussières s'élevant de la poche de coulée est aspiré par une hotte ajustable.

Pour le dégazage avec recirculation, le métal fondu subit un traitement sous vide en continu ou par portions séparées. Selon le processus, on fait la distinction entre le dégazage par le vide avec levage (DH) et le dégazage par le vide avec recirculation (RH).

Le traitement sous vide est un élément très important de la gestion de l'eau de l'installation, car le vide est généré par un processus utilisant la vapeur et l'eau. Les petits systèmes ont recours à des pompes à anneau liquide, alors que les grandes installations utilisent des pompes à vide à jet de vapeur multi-étages ou des combinaisons de pompes à anneau liquide et de pompes à vide à jet multi-étages. Le gaz issu de la chambre de traitement sous vide est aspiré et entraîné dans l'eau par une sous-pression générée selon le principe de la pompe à eau. Cette évacuation nécessite des débits d'eau considérables pouvant avoisiner les 5 m³/t d'acier brut liquide.

8.1.5 Coulée

Une fois que la qualité de l'acier désirée est atteinte, l'acier est transporté vers la machine de coulée dans une poche de coulée. Jusqu'il y a quelques années, la méthode standard consistait à verser l'acier en fusion dans des moules permanents (coulée en moule permanent ou en lingotière) par un processus discontinu. De nos jours, la méthode la plus utilisée est celle de la coulée continue, où l'acier est coulé en une bande continue.

8.1.5.1 Coulée continue

La Figure 8.8 montre une représentation schématisée d'une installation de coulée continue.

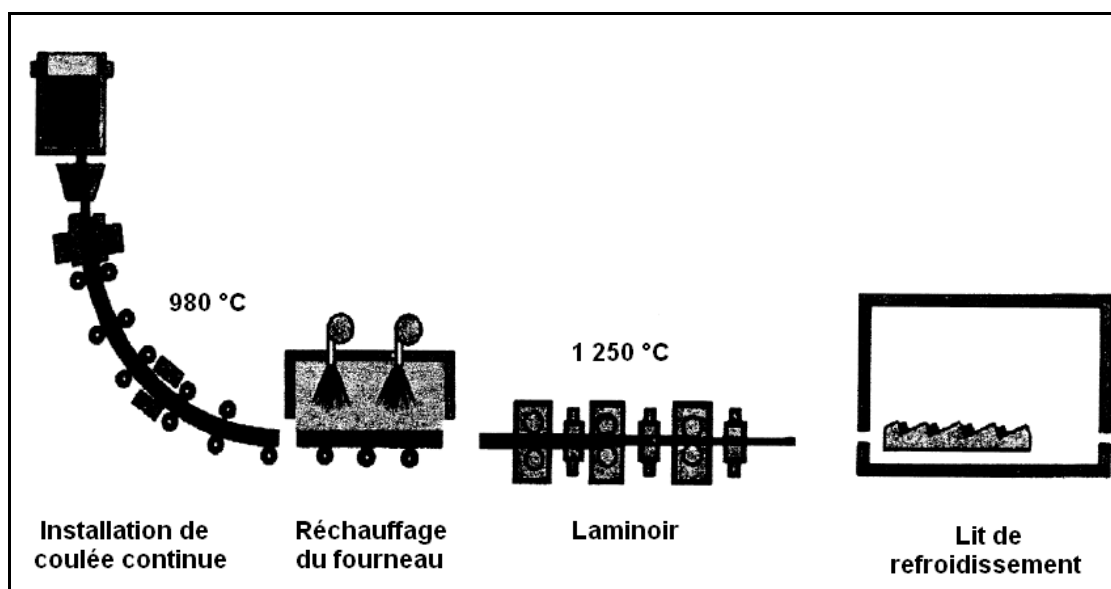


Figure 8.8 : Schéma d'une installation de coulée continue avec un four maintenu à température et un laminoir sans charge

La coulée continue présente plusieurs avantages majeurs :

- économies d'énergie, émissions réduites et moindre utilisation d'eau du fait de l'élimination des laminoirs à brames ou à billettes,
- meilleures conditions de travail,
- rendements supérieurs de 95 %,
- forte productivité.

Depuis l'introduction de la coulée continue à l'échelle industrielle à la fin des années 1960, sa part dans production d'acier totale de l'UE a atteint environ 95,4 %. Aujourd'hui, environ 75 % de la production mondiale d'acier est coulée par la méthode continue. Au-delà du processus de coulée en lingotière, les machines de coulée continue ont également remplacé l'ébauchage-laminage et les opérations d'ébauche ou les laminoirs à chaud conventionnels. De nos jours, presque toutes les nuances d'acier pour les produits laminés peuvent être traitées par la coulée continue. En effet, les conditions préalables indispensables que sont la désoxydation et le dégazage, par exemple, peuvent s'obtenir grâce aux traitements métallurgiques secondaires modernes.

Selon leur configuration, on classe les machines de coulée continue en machines de type vertical, avec cintrage et redressage, avec cambrure ou avec cambrure ovale.

Du convertisseur, l'acier liquide est coulé dans une poche et acheminé, après traitements métallurgiques secondaires, au panier de coulée de la machine de coulée continue (CCM). Il s'agit d'une poche de coulée intermédiaire avec évacuation réglable. Afin d'éviter une stratification thermique dans le panier de coulée, les poches de coulée sont préchauffées avant l'admission de la charge d'acier liquide.

Quand le métal en fusion atteint la température souhaitée, il est alors versé dans le panier de coulée. De là, il passe dans un moule en cuivre refroidi à l'eau ne contenant pas d'air et oscillant de bas en haut pour empêcher que l'acier n'attache. C'est ce moule qui donne au métal la forme souhaitée. Au sortir du moule, une « peau » d'acier solidifié s'est formée. L'acier coulé est alors guidé doucement vers la position horizontale par un grand nombre de rouleaux (ou « rouleaux pinceurs »). La pièce coulée, très longue, est alors coupée en morceaux à l'aide d'une coupeuse au chalumeau. C'est ainsi que les brames, les blooms et les billettes sont coulés.

Pour les profilés qui ne sont pas autoportants, la bande chauffée à rouge, dont la surface est déjà solidifiée, passe à travers un certain nombre de paires de rouleaux entraînés ou pas qui soutiennent sa coquille face à la pression ferrostatique. Comme son cœur est encore liquide, on l'asperge prudemment d'eau et on la refroidit jusqu'à ce qu'elle se soit complètement solidifiée (refroidissement secondaire). Cela permet d'éviter que la surface de la bande, relativement fine, se fissure, et sert aussi à protéger les rouleaux de la surchauffe. Les éléments de support, de transport et d'entraînement sont généralement des rouleaux équipés de systèmes de refroidissement internes et externes. Dans la zone de refroidissement secondaire, il est possible de se passer du refroidissement interne des rouleaux dès lors que la pulvérisation d'eau a suffisamment fait baisser la température. Un certain nombre de coussinets sont reliés à un système automatique de lubrification à la graisse. Une fois que la bande s'est totalement solidifiée, elle peut être découpée à la taille appropriée au moyen de chalumeaux d'oxycoupage. Grâce à ce refroidissement rapide, la microstructure de solidification de l'acier est uniforme, ce qui lui procure de bonnes caractéristiques technologiques. La microstructure de solidification de la bande peut être influencée par un refroidissement à l'air ou à l'eau en aval.

La forme de la bande est déterminée par la géométrie du moule, qui peut être de section rectangulaire, carrée, circulaire ou polygonale. Pour la production de profilés d'acier, il est possible d'utiliser des moules ressemblant à la section transversale du produit visé. Pour la coulée continue, les dimensions de la bande sont généralement comprises entre 80 x 80 mm et environ 310 x 310 mm ; elles sont de 600 mm (circulaire) pour les billettes et 450 x 650 mm pour les blooms. Les machines à couler des brames produisent quant à elles des bandes pouvant mesurer jusqu'à 350 mm en épaisseur et 2 720 mm en largeur. Les machines à couler des billettes peuvent traiter jusqu'à huit bandes en même temps, alors que ce nombre est limité à deux pour les machines à couler des brames.

8.1.5.2 Coulée en lingotière

Pour la coulée en lingotière, l'acier liquide est coulé dans des moules. En fonction de la qualité de la surface souhaitée, des agents de dégazage (par exemple NaF) peuvent être ajoutés dans la lingotière pendant la coulée. Après refroidissement, les lingots sont sortis du moule et acheminés jusqu'aux laminoirs. Ils sont ensuite préchauffés, puis laminés pour en faire des brames, des blooms ou des billettes. Dans beaucoup d'endroits, la coulée continue a remplacé la coulée en lingotière et on s'attend à ce qu'elle finisse par la remplacer complètement, sauf dans le cas des produits pour lesquels ce procédé est indispensable à l'obtention de la qualité requise (c'est le cas par exemple de la production de poids lourds pour le forgeage).

8.2 Niveaux d'émission et de consommation actuels

8.2.1 Vue d'ensemble des flux entrants et sortants

La Figure 8.9 montre un aperçu des flux d'entrée et de sortie pour la sidérurgie à l'oxygène pouvant être utilisé pour noter les données provenant de hauts fourneaux.

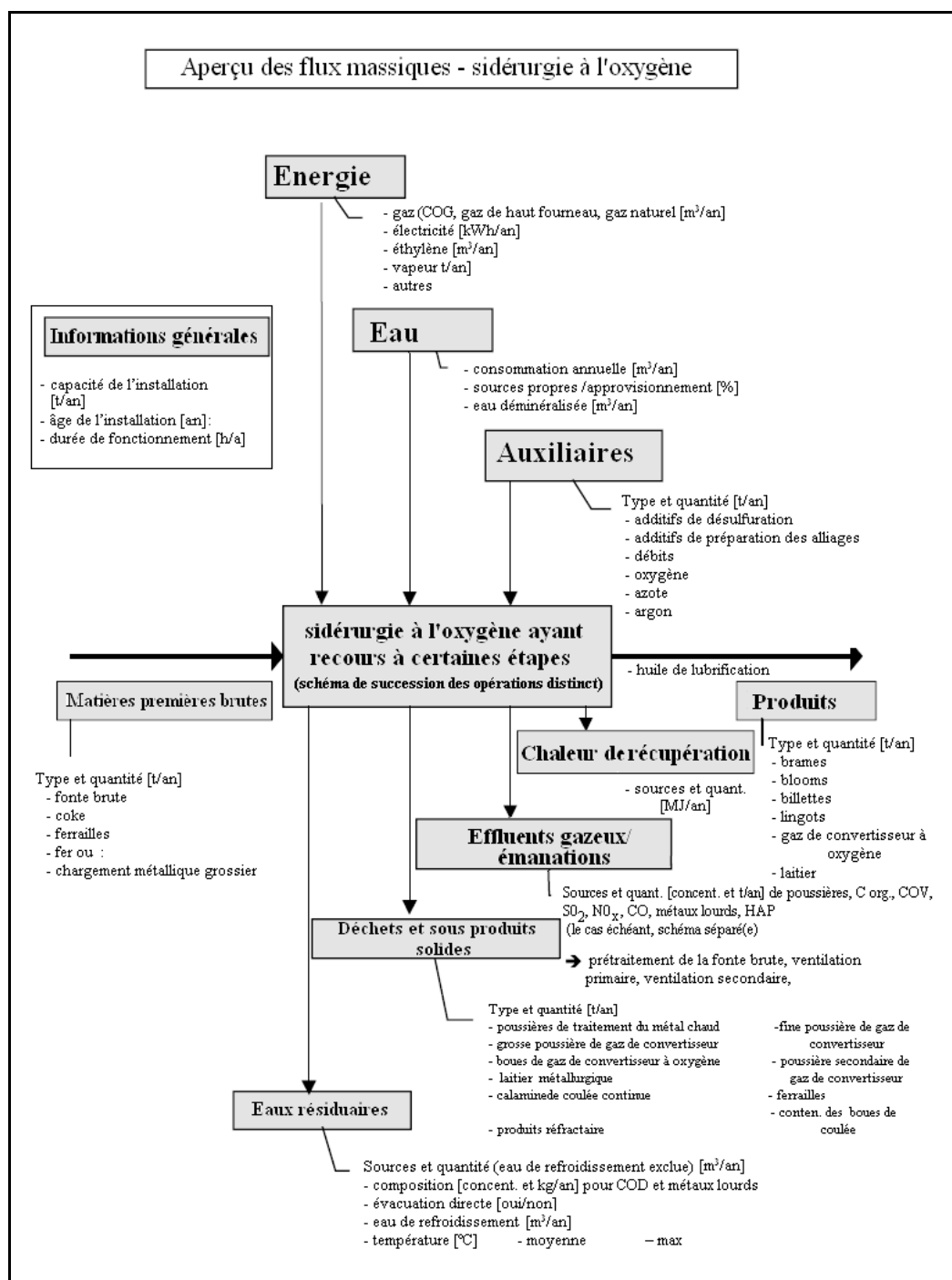


Figure 8.9 : Aperçu des flux pour la sidérurgie à l'oxygène

La Figure 8.10 présente le fonctionnement général de la sidérurgie à l'oxygène avec indication des flux d'entrée et de sortie.

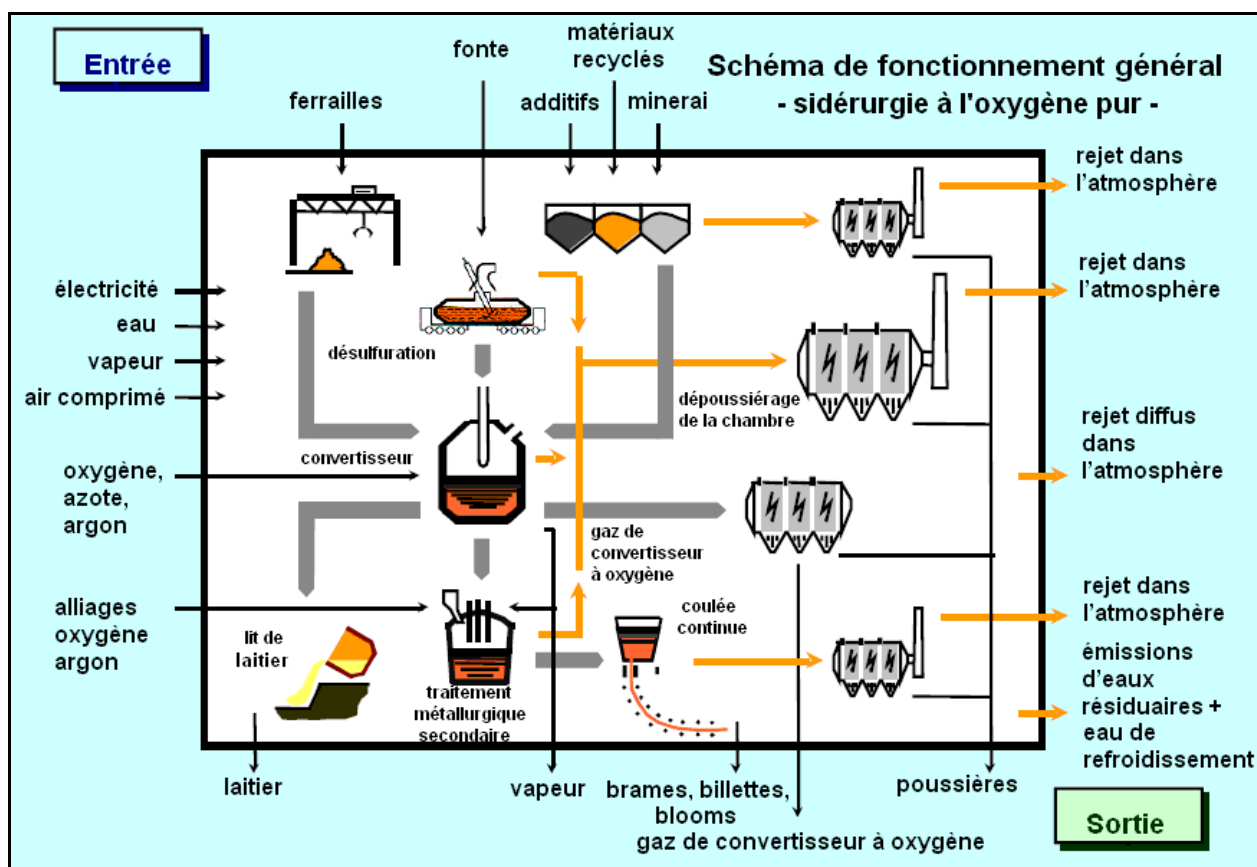


Figure 8.10 : Fonctionnement général de la sidérurgie à l'oxygène avec indication des différentes opérations des flux d'entrée et de sortie

On peut calculer les facteurs spécifiques d'entrée et d'émission. Le Tableau 8.2 fournit pour ces différents facteurs des chiffres issus de quatre aciéries à l'oxygène situées dans quatre États membres de l'UE.

Entrée			Sortie		
Matières premières			Produits ^{*3}	[kg/t LS]	1 000,0
Fonte brute ^{*1}	kg/t d'acier brut liquide	820 – 980	Brames		
Ferrailles	kg/t d'acier brut liquide	170 – 255	Blooms		
minerai de fer	kg/t d'acier brut liquide	7 – 20	Billettes		
Autres matériaux ferreux	kg/t d'acier brut liquide	7 – 10	lingots		
Coke	kg/t d'acier brut liquide	0,02 – 0,48			
Chaux	kg/t d'acier brut liquide	30 – 55	Énergie		
Dolomie ^{*2}	kg/t d'acier brut liquide	1,5 – 4	Gaz de convertisseur à oxygène ^{*4}	MJ/t d'acier brut liquide	(0)-650 – 840
Alliages	kg/t d'acier brut liquide	3 – 9	Vapeur ^{*5}	MJ/t d'acier brut liquide	(0)-20 – 270
			Émissions de gaz		
Oxygène	m ³ /t LS	45 – 55	Poussières	g/t LS	15 – 80
			Cr ^{*6}	g/t LS	0,01 – 0,36
			Cu ⁶	g/t LS	0,01 – 0,04
Énergie			Pb ^{*6}	g/t LS	0,13 – 0,9
Gaz naturel	MJ/t LS	20 – 55	Mn ^{*6}	g/t LS	<0,01 – 1,2
électricité	MJ/t LS	38 – 120	NO _x	g/t LS	5 – 20
			CO ₂ ^{*7}	kg/t LS	11,2 – 140
Vapeur	MJ/t LS	30 – 140	HAP ^{*8}	mg/t LS	0,08 - 0,16
			PCDD/F	µg I-TEQ/t LS	<0,001 – 0,06
Air comprimé	Nm ³ /t LS	4 – 18			
			Résidus/sous-produits		
			Laitiers désulfurés	kg/t LS	2,2 – 19,2
Eau	m ³ /t LS	0,4 – 5	Laitiers de convertisseur à oxygène	kg/t LS	85 – 110
			Laitier issu de trait. métall. secondaires	kg/t LS	2 – 16
			Projections	kg/t LS	4 – 5
			Poussières	kg/t LS	1,5 – 7
			Laitier de coulée continue	kg/t LS	4 – 5
			Battitures	kg/t LS	1,2 – 6
			Granulats	kg/t LS	0,8 - 5
			Eaux usées	m ³ /t LS	?

Légende : LS = acier brut liquide

^{*1} on peut distinguer la fonte à forte teneur en phosphore (1,5-2,2 % P) et celle à faible teneur en phosphore (0,08-0,25 % P)

^{*2} les principaux alliages sont : Fe-Ti, Fe-W, Fe-Ni, Fe-V, Fe-Si et Fe-Mo

^{*3} somme de produits (brames, blooms, billettes ou lingots)

^{*4} zéro en cas de non-récupération des gaz de convertisseur à oxygène

^{*5} valeur élevée en cas de combustion et de captation de la chaleur des gaz de combustion sous forme de vapeur ; zéro en cas de récupération quantitative des gaz de convertisseur à oxygène sans récupération de chaleur (pas de vapeur produite)

^{*6} valeur supérieure en cas de dépoussiérage secondaire insuffisant

^{*7} valeur élevée en cas de combustion partielle ou complète des gaz de convertisseur à oxygène

^{*8} HAP Borneff 6 ; données disponibles pour deux installations seulement

Tableau 8.2 : Données d'entrée/sortie de quatre aciéries à l'oxygène existantes situées dans quatre Etats membres de l'UE

De plus, aucune information n'est disponible sur les méthodes d'échantillonnage et d'analyse, les intervalles de temps, les méthodes de calcul et les conditions de référence sur lesquels reposent les données présentées. Aucune information détaillée sur les autres installations n'est disponible. L'année de référence des données est 1996 et les données d'émission reflètent la situation après réduction.

Le Tableau 8.3 fournit un complément au Tableau 8.2 en présentant les facteurs d'émissions de poussières dans l'atmosphère (après réduction) pour les principales opérations/sources de la sidérurgie à l'oxygène.

	Opération/source d'émission	Poussières [g/t LS]	
		n.p.	x±s
Gaz de convertisseur			
	Combustion complète ^{*2}	13/10-200	66±78
	Combustion supprimée <u>sans</u> récupération de gaz combustible	17/15-190	74±65
	Combustion supprimée <u>avec</u> récupération de gaz combustible	13/1,5-16	8±4
Sources d'émission autres que convertisseur			
	Désulfuration de la fonte ^{*4}	26/1-7	
	Manipulation de la fonte (transvasement) ^{*5}	1-17	
	Chargement, coulée, décrassage et émissions secondaires du convertisseur à oxygène au cours du soufflage ^{*5}	1-30	
	Traitements métallurgiques secondaires ^{*6}	0,1-10	
	Coulée continue ^{*5}	0,5-4	
	Somme des « émissions hors-convertisseur » ^{*7}	20-80	

Légende : LS = acier brut liquide ; x±s = valeur moyenne et écart-type (calculés seulement si suffisamment de données sont disponibles) ;

n = nombre de données ; p = plage de données (min-max) ; n.p. = non pertinent ; n.d. = non disponible

^{*1} sauf indication contraire, données issues de [Etude CE, 1996]

^{*2} trois convertisseurs avec 200 g de poussière/t LS, sinon : < 50 g poussière/t d'acier brut liquide.

^{*3} trois convertisseurs avec 190 g de poussière/t LS, un avec 140 g de poussière/t LS, sinon : < 100 g poussière/t LS.

^{*4} deux installations qui utilisent l'épuration par voie humide ou séparateurs électrostatiques excèdent les empoussièrtements donnés (15-20 g poussière/t LS) ; données par installation non disponibles

^{*5} données par installation non disponibles

^{*6} les traitements métallurgiques secondaires comprennent les opérations effectuées dans les poches de coulée, fours-poches, convertisseurs à oxygène et autres équipements et comprend l'enfournement et la coulée ; cinq convertisseurs à oxygène présentent des facteurs d'émission de poussières compris entre 15 et 20 g poussière/t LS

^{*7} données issues de [Etude CE, 1996] corrigées à l'aide des données de [EUROFER BOF, 1997]

Tableau 8.3 : Facteurs d'émissions pour les rejets de poussières dans l'atmosphère (après réduction) pour les aciéries à l'oxygène ^{*1}

8.2.2 Informations sur les différents flux d'émission et la consommation d'énergie

Les émissions suivantes d'effluents gazeux, de déchets et de sous-produits solides et d'eaux usées peuvent être identifiées dans la sidérurgie à l'oxygène.

8.2.2.1 Émissions de gaz résiduaux

8.2.2.1.1 Effluents gazeux primaires de

- prétraitement de la fonte brute,
- soufflage à l'oxygène et gaz de convertisseur à oxygène,
- poches de coulée, fours-poches, convertisseurs et autres équipements servant au traitement métallurgique secondaire,

8.2.2.1.2 Effluents gazeux secondaires de

- transvasement et décrassage de la fonte,
- chargement du convertisseur à oxygène,
- coulée de l'acier liquide et du laitier de convertisseurs à oxygène et de poche de coulée,
- traitements métallurgiques secondaires et coulée,
- manipulation des additifs,
- coulée continue.

8.2.2.2 Déchets et sous-produits solides

- laitier de désulfuration,
- laitier de convertisseur à oxygène,
- laitier issu de traitements métallurgiques secondaires,
- projections,
- poussières issues du traitement par voie sèche des gaz de convertisseur à oxygène (quand il a lieu) ou du traitement des autres effluents gazeux (par exemple effluents gazeux issus de la désulfuration, effluents gazeux issus d'un dépoussiérage secondaire, effluents gazeux issus de traitements métallurgiques secondaires),
- boues issues du traitement par voie humide des gaz de convertisseur à oxygène (quand il est pratiqué),

- laitier de coulée continue,
- battitures de coulée continue,
- granulats.

8.2.2.3 Émissions d'eaux usées issues :

- du traitement par voie humide des gaz de convertisseur à oxygène,
- de la coulée continue.

8.2.2.1 Émissions de gaz résiduaux

8.2.2.1.1 Effluents gazeux primaires

8.2.2.1.1.1 Émissions résultant du prétraitement de la fonte brute

Chacune des trois étapes du prétraitement de la fonte brute entraîne des émissions de particules. Les émissions gazeuses générées par la désulfuration, puis par la séparation des laitiers et le pesage peuvent contenir jusqu'à 10 000 mg/Nm³ ou 1 000 g/t d'acier de particules [Koeller, 1995, EC BOF 1995]. Les émissions peuvent être réduites par le placement judicieux de capuchons d'aspiration et par un traitement ultérieur au moyen d'un séparateur à tissu filtrant ou de tout autre filtre approprié (par exemple un précipitateur électrostatique).

8.2.2.1.1.2 Émissions occasionnées par le soufflage à l'oxygène et gaz de convertisseur à oxygène

Les gaz de convertisseurs émis durant le soufflage à l'oxygène contiennent du monoxyde de carbone (CO) ainsi que d'importantes quantités de particules (il s'agit principalement d'oxydes métalliques, en particulier de métaux lourds) et des doses relativement faibles d'oxydes de soufre (SO₂) et d'oxydes d'azote (NO_x). De très faibles quantités de PCDD/F et de HAP sont également émises (voir Tableau 8.2).

Deux systèmes peuvent être utilisés pour récupérer de l'énergie à partir des gaz de convertisseur :

- a) combustion partielle/complète,
- b) combustion supprimée.

La méthode de récupération choisie joue sur les émissions.

Avec la méthode de combustion complète (ou ouverte), le gaz de transformation issu du four de conversion subit une combustion dans la conduite des gaz de combustion. Une ouverture située entre le four de conversion et le système de ventilation primaire (pour gaz de convertisseur) permet l'entrée de l'air ambiant et par la même occasion la combustion complète ou partielle du gaz de convertisseur. Dans ce cas, le gaz de transformation contient environ 15 à 20 kg de particules par tonne d'acier liquide et à peu

près 7 kg de monoxyde de carbone par tonne d'acier liquide. L'énergie est ensuite récupérée au moyen d'une chaudière de récupération de la chaleur sensible. Les systèmes à combustion ouverte ont un débit élevé (2 000 à 3 000 Nm³/t d'acier brut liquide) par rapport aux systèmes sans combustion (50 à 100 Nm³/t d'acier brut liquide). La raison en est l'introduction d'air dans les conduites pour gaz de convertisseur à oxygène.

Dans le système sans combustion, un bandeau rétractable refroidi à l'eau est abaissé au-dessus de la bouche du convertisseur. Ainsi, la combustion du monoxyde de carbone dans la conduite des fumées est étouffée et il est possible de récupérer le CO. L'absence d'azote (puisque'il n'y a pas d'entrée d'air) permet d'atteindre des vitesses de soufflage à l'oxygène plus élevées et donc de réduire le temps de traitement.

Les gaz de convertisseur à oxygène sont considérés comme des gaz pauvres en termes de valeur calorifique et d'indice de Wobbe, mais appartiennent au groupe des gaz riches de par leurs qualités de combustion (en particulier leur température de combustion). Leur composition varie selon la nature des processus menés, la méthode de récupération et le volume d'oxygène (Tableau 8.4).

Paramètre	Unité	Valeur moyenne ¹⁾	Plage de variation
Composition			
CO	[vol.-%]	72,5	55 - 80
H ₂	[vol.-%]	3,3	2 - 10
CO ₂	[vol.-%]	16,2	10 - 18
N ₂ + Ar	[vol.-%]	8,0	8 - 26
Caractéristiques			
Densité	[kg/Nm ³]	1,33	1,32 - 1,38
Valeur calorifique brute	[kJ/Nm ³]	9 515	
Valeur calorifique nette	[kJ/Nm ³]	9 580	7 100 – 10 100
Température théorique d'inflammation	[°C]	2 079 ²⁾	
Demande d'air spécifique (voie humide)	[Nm ³ /Nm ³]	1,81	1,34 – 1,90
Quantité spécifique de rejets gazeux (voie humide)	[Nm ³ /Nm ³]	2,43	
1) les chiffres des gaz de combustion portent sur les conditions suivantes en aval du gazomètre : température de 15°C, pression de 60 mbar, niveau du baromètre de 1 013 Pa et humidité de 100 % 2) humidité totale et température de 0°C			

Légende : LD/AC = processus Linz-Donawitz/Arbed-CRM ; LD = processus Linz-Donawitz ; AOD = décarburation par argon et oxygène

Tableau 8.4 : Composition et caractéristiques des gaz de convertisseur à oxygène

La Figure 8.11 montre la teneur en CO (un paramètre clé pour l'utilisation des gaz de convertisseur à oxygène) en fonction du temps d'oxydation pour la combustion supprimée. Du fait de leur faible teneur en CO, les gaz de convertisseur à oxygène générés pendant les quelques minutes de début et de fin du soufflage ne sont pas recueillis mais brûlés à la torche après dépoussiérage.

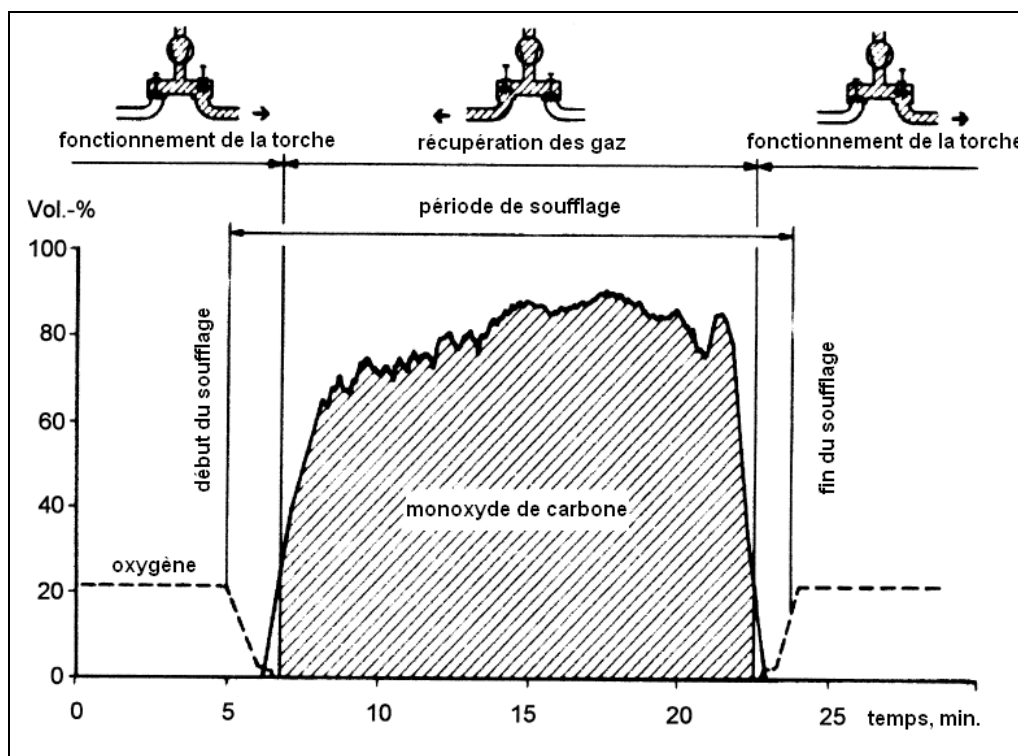


Figure 8.11: Récupération des gaz de convertisseur à oxygène avec une suppression de la combustion

En général, les particules sont éliminées des gaz de convertisseur à oxygène avec un Venturi ou au moyen de dépoussiéreurs électriques secs. Avec la combustion supprimée, le Venturi permet d'obtenir des concentrations de particules de 5 à 10 mg/Nm³ (mais il est possible que les concentrations atteignent jusqu'à 50 mg/Nm³) dans le gaz de grille, ce qui correspond à 1 g/t d'acier brut liquide. La teneur en fer des particules récupérées est comprise entre 42 et 65 %. Les particules contenues dans le gaz de grille sont émises sur le site de combustion de ce dernier.

En cas de combustion complète, les rejets de particules dans l'atmosphère peuvent être de 25 à 100 mg/Nm³ après traitement. Etant donné que le débit de gaz de combustion des systèmes de combustion ouverts est bien plus important, ce chiffre correspond à des émissions de particules pouvant aller jusqu'à 180 g/t d'acier brut liquide. Le Tableau 8.5 présente un résumé des rejets dans l'atmosphère d'un convertisseur à oxygène.

Composant	Valeur d'émission spécifique	Unité
Débit de ventilation primaire (gaz de convertisseur à oxygène)		
- Combustion totale	2 000-3 000	[Nm ³ /t LS]
- Combustion supprimée	50-120	"
Débit de ventilation secondaire 1 300-4 800 [Nm ³ /t LS]	1300-4800	[Nm ³ /t LS]
Particules issues du soufflage à l'oxygène		
- Hors réduction	15-20	[kg/t LS]
- Après dépoussiérage primaire (gaz de convertisseur à oxygène)	0,5 – 200	[g/t LS][
Matières particulaires issues du chargement et de la coulée		
- Hors réduction	200-1 000	g/t LS]
- Après dépoussiérage secondaire	2-60	"
- Non captées par l'enceinte	25-100	"
Métaux (lourds)		
Al	0,60 - 0,68	[g/t LS]
As	0,00 - 0,02	"
Cd	0,07 - 0,20	"
Cr	0,00 - 0,04	"
Fe	0,04	"
Hg	2,8 – 83	"
Mg	0,00 -0,02	"
Mn	1,45 - 2,40	"
Pb	2,7 – 60	"
Zn	1,5 – 2,9	"
Fe	8,2	"
Oxydes de soufre (SO ₂)	0,4 – 5,5	[g/t LS]
Oxydes d'azote (NO _x)	5,0 – 20	[g/t LS]
Monoxyde de carbone (CO)	7,0 – 16	[kg/t LS]
Acide fluorhydrique*	0,008 - 0,01	[g/t LS]
HAP (Borneff 6)	0,08 – 0,16	[mg/t LS]
PCDD/F	<0,001 – 0,06	[µg I-TEQ/t LS]

Légende :LS = acier brut liquide ** Lorsque du spath-fluor (CaF_2) est ajouté comme fondant au cours de la désulfuration de la fonte brute, les émissions de fluorides peuvent être bien supérieures.**Tableau 8.5 : Valeur des rejets dans l'atmosphère d'un convertisseur à oxygène à combustion supprimée ; en l'absence d'autres indications, les valeurs sont considérées après réduction – source [InfoMil, 1997]**

Il existe des gradations entre combustion supprimée et complète ; dans certaines installations la combustion est complète, dans d'autres elle est partiellement étouffée, dans d'autres encore la combustion des gaz de convertisseur à oxygène est totalement étouffée. Parfois les gaz de convertisseur à oxygène ne sont pas récupérés mais brûlés à la torche. Actuellement, la tendance est plutôt à la combustion supprimée et à la récupération des gaz de convertisseur à oxygène. Il est également nécessaire que les gaz récupérés puissent être employés sur place. Comme ces conditions ne sont pas toujours remplies, il existe encore des aciéries à l'oxygène dans l'UE qui ne font pas appel à la récupération des gaz de convertisseur à oxygène.

Le trou de la lance joue un rôle important dans les émissions de particules. Etant donné que la lance à oxygène doit être télescopique, il est possible que des particules présentes dans la conduite des gaz de combustion s'échappent par le trou de la lance et atteignent l'atmosphère du bâtiment. La présence d'écrans et le soufflage de vapeur ou de gaz inertes peut permettre d'éviter ces émissions.

8.2.2.1.1.3 Émissions provenant des poches de coulée, fours-poches, convertisseurs à oxygène et autres équipements servant au traitement métallurgique secondaire

Les émissions de poussières résultant des différents traitements sont comprises entre 1 et 275 g/t d'acier brut liquide [EUROFER BOF, 1997]. Les rejets dans l'atmosphère après réduction sont compris entre 0,1 et 10 g/t d'acier brut liquide (voir Tableau 8.3).

Pour ce qui est de la production d'acier plombé (voir 1.1.5), les émissions ont lieu au moment de l'ajout de plomb dans la poche de coulée contenant l'acier liquide. Les effluents gazeux sont aspirés et subissent un traitement spécial dans un filtre à manche, ce qui permet d'obtenir des gaz résiduels ayant une teneur en poussière résiduelle assez basse (inférieure à 5 mg/Nm³). Cependant, la poche n'étant pas étanche aux gaz, des volumes considérables d'émissions fugaces (qui ne sont pas recueillies) peuvent être rejetés. Aucune information sur les débits et les émissions de plomb n'est disponible.

8.2.2.1.2 Effluents gazeux secondaires

Les effluents gazeux secondaires sont émis au cours des opérations suivantes :

- transvasement et décrassage de la fonte,
- chargement du convertisseur à oxygène (fonte et ferrailles),
- coulée de l'acier liquide et du laitier de convertisseurs à oxygène et de poche de coulée,
- traitements métallurgiques secondaires et coulée,
- manipulation des additifs,
- coulée continue.

Les rejets dans l'atmosphère issus de ces différents traitements/sources d'émission sont résumés dans le Tableau 8.3.3. Les émissions occasionnées par le chargement et la coulée dans les convertisseurs à oxygène sont à prendre en compte et sont décrites plus en détail :

Des particules sont émises pendant le chargement des ferrailles et de la fonte et durant la coulée depuis le convertisseur à oxygène. Durant le chargement et la coulée, le convertisseur est basculé. Un système de ventilation secondaire est souvent installé pour réduire les émissions de particules. Ce système de ventilation secondaire est généralement constitué d'une hotte de captage des fumées diffuses située juste au-dessus du convertisseur en position basculée et d'une niche entourant les trois autres quarts du convertisseur. Le traitement ultérieur des gaz évacués est généralement effectué au moyen d'un séparateur à tissu filtrant ou d'un précipitateur électrostatique.

Pendant le chargement et la coulée, la ventilation secondaire ne capture pas la totalité des particules. De faibles quantités de particules sont donc émises par le toit du bâtiment contenant le convertisseur (25 à 100 g/t d'acier liquide (brut)). Le taux d'émission réel dépend principalement de l'efficacité du système d'évacuation et de l'ordre de chargement des ferrailles et de la fonte brute liquide.

8.2.2.2 Déchets et sous-produits solides

Le Tableau 8.6 fournit une compilation des déchets et sous-produits solides issus de la sidérurgie à l'oxygène, ainsi que des données quantitatives correspondantes.

Déchets et sous produits solides	Quantité spécifique (plage) [kg/t LS]
Laitier de désulfuration	2 – 25
Laitier de convertisseur à oxygène	100-130
Projections	4-10
Grosses poussières et boues issues du traitement des gaz de convertisseur à oxygène	3-12
Poussières fines et boues issues du traitement des gaz de convertisseur à oxygène	9-15
Poussière issue du dépoussiérage secondaire	0,2-3
Laitier issu de traitements métallurgiques secondaires	2-16
Laitier de coulée continue	4-5
Battitures de coulée continue	1,2-6
Granulats	0,8-6

Légende : LS = acier brut liquide

Tableau 8.6 : Types et quantités de résidus et sous-produits solides résultant de la sidérurgie à l'oxygène d'après [EUROFER BOF, 1997; Rentz, 1996]

Les chiffres du Tableau 8.6 viennent confirmer ceux du Tableau 8.2, issus de quatre aciéries intégrées de l'UE. Dans la limite de leur disponibilité, des informations sur la composition et le devenir des déchets et résidus solides sont fournies ici.

8.2.2.2.1 Laitier de désulfuration

Le laitier de désulfuration est un laitier hétérogène partiellement fondu. La composition des laitiers de désulfuration dépend largement des agents de désulfuration utilisés. Leur composition habituelle est décrite dans le Tableau 8.7.

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe total	Fe métallique	MnO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	CaO libre	S	CaO/SiO ₂
27,0	18,0	8,0	10,0	20,0	15,0	≤0,5	≤0,2	≤0,1	≤5	≤4	1,5

Tableau 8.7 : Composition chimique (pourcentage en masse) du laitier issu de la désulfuration de la fonte brute [Geiseler, 1991]

De par leur teneur en soufre relativement élevée et leurs propriétés mécaniques peu satisfaisantes, les laitiers de désulfuration ne sont pas idéals pour la réutilisation. Ils servent de matériau de comblement de terrain ou de construction de murs de protection contre le bruit, ou sont enfouis

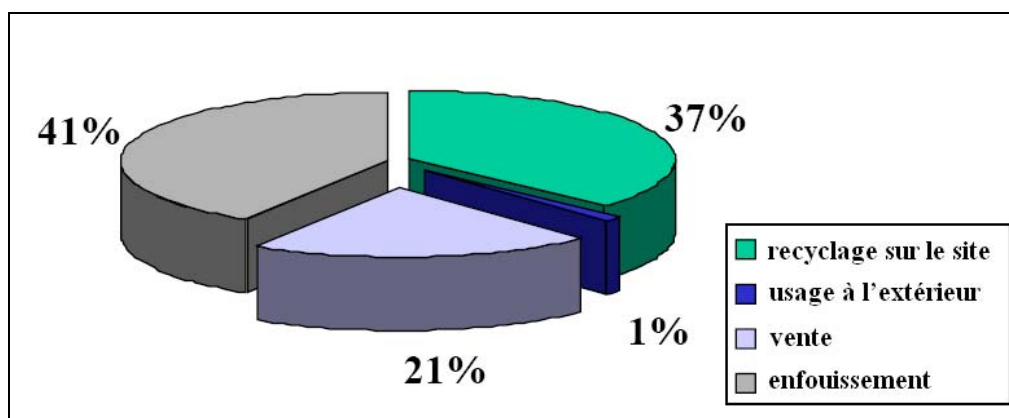


Figure 8.12 : Devenir des poussières et boues issues de la désulfuration de la fonte brute dans l'UE – [Etude CE, 1996]

8.2.2.2.2 Laitier de convertisseur à oxygène

Les laitiers issus de la sidérurgie à l'oxygène constituent la majeure partie des résidus produits. Leur composition varie selon la nature des processus menés (Tableau 8.8).

Processus	LD/AC	LD	AOD
CaO	50,0	50,0	53,0
SiO ₂	9,0	15,0	28,0
Al ₂ O ₃	. 2	. 2	3,0
MgO	. 3	. 3	5,0
Fe total	12,0	16,0	. 2
Fe métallique	. 1	. 1	. 1
MnO	2,0	. 4	. 1
P ₂ O ₅	15,0	. 2	0,5
Cr ₂ O ₃	. 1	. 1	. 2
CaO libre	. 7	10	. 5
S	-	-	. 1
CaO/SiO ₂	4	2,5	1,8

Légende : LD/AC = processus Linz-Donawitz/Arbed-CRM ; LD = processus Linz-Donawitz ; AOD = décarburation par argon et oxygène

Tableau 8.8 : Composition chimique (pourcentage en masse) du laitier de convertisseur à oxygène [Geiseler, 1991]

Le laitier de convertisseur à oxygène peut être réemployé dans la fabrication de fer. Il peut également servir à la fabrication d'engrais ou à la construction routière. Le laitier de phosphate de chaux (processus Linz-Donawitz/Arbed-CRM ou Oxygen-Bottom-Maxhütte) est entièrement employé pour la fabrication d'engrais. Les laitiers de convertisseur à oxygène étant généralement employés dans le génie civil et hydraulique, la construction routière et la cimenterie, leur taux d'oxyde de calcium libre relativement élevé doit être pris en considération. Toutefois, dans l'UE, une fraction non négligeable des laitiers de convertisseur à oxygène est encore enfouie (Figure 8.13).

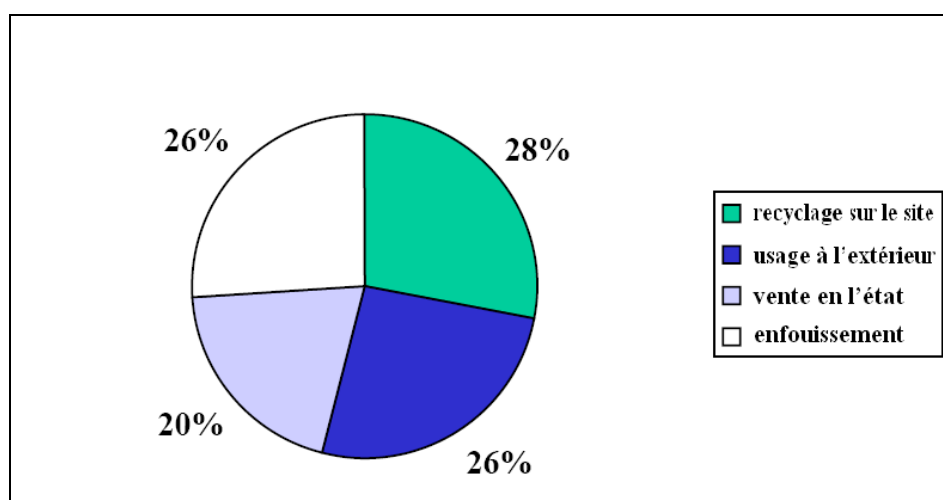


Figure 8.13 : Devenir des laitiers de convertisseur à oxygène dans l'UE [Etude CE, 1996]

8.2.2.2.3 Projections

Normalement, les projections sont recyclées dans la bande d'agglomération.

8.2.2.2.4 Grosses poussières issues du traitement des gaz de convertisseur à oxygène

Les grosses poussières (dans le cas du traitement des gaz de convertisseur à oxygène par voie sèche) ou les boues (pour le traitement par voie humide, par exemple dans un Venturi) sont séparées des gaz de convertisseur à oxygène. Le Tableau 8.9 présente la composition des grosses poussières comparée à celle des poussières fines. Les rapports entre boues grossières et boues fines sont similaires.

Paramètre	Grosse poussière	Poussière fine
Fe total	30 – 85	54 – 70
Fe métallique	72	20
CaO	8 – 21	3 – 11
Zn	0,01 – 0,4	1,4 – 3,2
Pb		
S		

	0,01 – 0,4 0,02 – 0,6 1,4	0,2 – 1,0 0,07 – 0,12 0,7
--	---------------------------------	---------------------------------

Tableau 8.9 : Composition des boues grossières et fines (pourcentage en masse) – [Harp, 1990; IISI, 1987 ; données issues d’une aciérie intégrée de l’UE]

Après préparation, les grosses poussières sont généralement réutilisées pour la sidérurgie à l’oxygène ou sont recyclées dans la bande d’agglomération. Dans l’UE, seule une petite partie d’entre elles est enfouie (Figure 8.14).

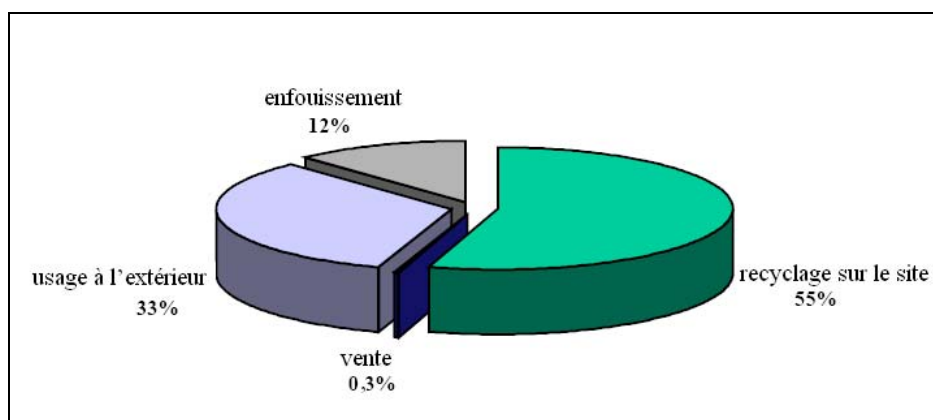


Figure 8.14 : Devenir des poussières issues du traitement par voie sèche des gaz de convertisseur à oxygène [Etude CE, 1996]

8.2.2.2.5 Poussières fines et boues issues du traitement des gaz de convertisseur à oxygène

Comme le montre le Tableau 8.9, les poussières fines contiennent des quantités de plomb et de zinc nettement plus importantes que les grosses poussières. Les ferrailles chargées dans le convertisseur à oxygène sont en général la source principale de ces métaux lourds. Il est parfois possible de maîtriser l’entrée de plomb et surtout de zinc en agissant sur les ferrailles. Cela permet de faire passer la teneur en plomb en dessous des 1 %, ce qui est l’objectif de cette mesure. Du fait de leur teneur importante en zinc, il arrive souvent que les poussières fines ou les boues ne puissent être recyclées et doivent être enfouies

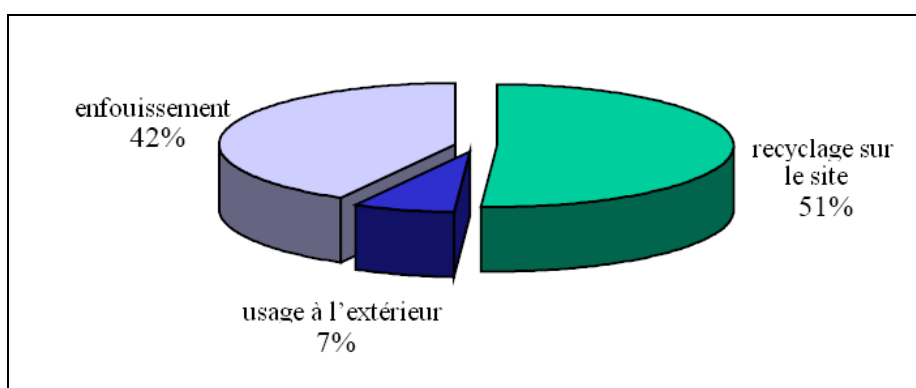


Figure 8.15 : Devenir des boues issues du traitement (par voie humide) des gaz de convertisseur à oxygène dans l'UE – [Etude CE, 1996]

Cette figure présente le cas des boues fines. En effet, des Venturis ou des précipitateurs électrostatiques par voie humide sont utilisés pendant la seconde étape du traitement, ce qui entraîne la création de boues.

8.2.2.2.6 Laitier et battitures de coulée continue

Normalement, ces sous-produits sont recyclés dans la bande d'agglomération.

8.2.2.2.7 Granulats

Aucune information représentative sur le devenir de ces déchets et sous-produits solides n'est disponible. Dans certaines aciéries, ils sont partiellement recyclés dans le convertisseur à oxygène ou réutilisés pour la production de nouveaux matériaux réfractaires ; dans d'autres cas, ils sont enfouis.

8.2.2.3 Émissions d'eaux usées

Les sources principales d'eaux usées sont les suivantes :

- eaux de lavage issues du traitement des gaz de convertisseur à oxygène,
- eaux provenant du refroidissement direct dans la coulée continue.

De plus, l'eau de refroidissement provient principalement du refroidissement des convertisseurs à oxygène ou de la coulée continue ou en lingotière.

8.2.2.3.1 Eaux de lavage issues du traitement des gaz de convertisseur à oxygène

Les gaz de convertisseur à oxygène sont traités par voie humide ou sèche. L'épuration par voie humide produit de l'eau, qui est habituellement recyclée après traitement. Ce traitement se fait généralement en deux étapes : séparation des grosses particules (d'une grosseur de grain supérieure à 200 µm) puis

sédimentation dans des bacs de décantation circulaires. L'ajout d'agents de floculation permet d'améliorer la sédimentation. Les boues sont déshydratées au moyen de filtres à vide rotatifs, de filtre-presses ou de centrifugeurs. Aucune donnée représentative sur le débit et la qualité des eaux usées traitées évacuées du circuit (surverse) n'est disponible.

8.2.2.3.2 Eaux usées issues de la formation de vide

Le débit d'eaux usées issu de la formation de vide est d'environ $5\text{m}^3/\text{t}$ d'acier brut liquide (voir 8.1.4). Aucune information sur leur composition, leur traitement ou leur recyclage n'est disponible.

8.2.2.3.3 Eaux usées de coulée continue

Les rejets dans l'eau des machines de coulée continue proviennent du système de refroidissement direct. Ce dernier sert à refroidir directement les brames, les blooms, les billettes et les machines. Les eaux d'évacuation, contaminées par des oxydes métalliques et des hydrocarbures (pétrole) sont bien souvent traitées en même temps que les eaux usées provenant des laminoirs. Aucune donnée représentative sur leur débit et leur qualité n'est disponible.

8.2.2.4 Besoins en énergie

8.2.2.4.1 Convertisseur à oxygène (convertisseur)

La combustion de carburant dans les convertisseurs à oxygène (ou convertisseurs) permet de les préchauffer et de les sécher après la refecton et la réparation. La consommation d'énergie thermique est d'environ $0,051\text{ GJ/t}$ d'acier brut liquide. La consommation d'électricité estimée est de 23 kWh/t d'acier brut liquide ou $0,08\text{ GJ/t}$ d'acier brut liquide. Ces chiffres incluent la production d'oxygène et l'exploitation des convertisseurs.

Les gaz de transformation brûlants issus des convertisseurs contiennent d'importantes quantités de monoxyde de carbone (CO). La récupération de l'énergie issue des gaz de convertisseur à oxygène (récupération de la chaleur et/ou récupération des gaz de convertisseur) leur permet de devenir des producteurs nets d'énergie. Dans une installation moderne, les taux de récupération d'énergie peuvent atteindre les $0,7\text{ GJ/t}$ d'acier brut liquide.

8.2.2.4.2 Coulée continue

La consommation de carburant liée au préchauffage de la poche de coulée contenant l'acier liquide est estimée à $0,02\text{ GJ/t}$ d'acier brut liquide. La consommation d'électricité des machines de coulée est estimée à $0,04\text{ GJ/t}$ d'acier brut liquide [InfoMil, 1997].

8.3 Techniques à prendre en compte lors de la détermination des MTD

Mesures intégrées au processus

PI.1 Récupération de l'énergie des gaz de convertisseur à oxygène

PI.2 Abaissement de la teneur en zinc des laitiers

PI.3 Prélèvement et analyse d'échantillons d'acier en continu

Techniques appliquées en fin de process

EP.1 Dépoussiérage primaire

EP.2 Réduction des quantités de particules issues du prétraitement de la fonte brute

EP.3 Dépoussiérage secondaire

EP.4 Agglomération à chaud et recyclage des poussières

EP.5 Traitement des eaux usées issues du dépoussiérage par voie humide

EP.6 Traitement des eaux usées issues de la coulée continue

PI.1 Récupération de l'énergie des gaz de convertisseur à oxygène

Description : Cette mesure implique une utilisation efficace de la chaleur sensible et de l'énergie chimique des gaz de convertisseur à oxygène. Auparavant, la majeure partie de l'énergie chimique était dissipée par brûlage à la torche.

Le gaz de convertisseur à oxygène produit durant le soufflage à l'oxygène quitte le convertisseur à oxygène par la bouche avant d'être récupéré par la ventilation primaire. Ce gaz a une température d'environ 1 200 °C et un débit d'environ 50 à 100 Nm³/t d'acier. En quittant le convertisseur à oxygène, il contient approximativement 70 à 80 % de monoxyde de carbone (CO) et son pouvoir calorifique est d'environ 8,8 MJ/Nm³.

Deux systèmes peuvent être utilisés pour récupérer de l'énergie à partir des gaz de convertisseur :

1. Combustion des gaz de convertisseur à oxygène dans la conduite de gaz de convertisseur puis récupération de la chaleur sensible dans une chaudière de récupération de chaleur ;

Les gaz de convertisseur à oxygène peuvent être consommés en laissant entrer de l'air ambiant dans la conduite de gaz du système de ventilation primaire. Ainsi, la chaleur sensible et le débit total de gaz dans le système de ventilation primaire augmentent et davantage de vapeur peut être générée dans la chaudière de récupération de chaleur. La quantité d'air ajoutée aux gaz de convertisseur à oxygène détermine la quantité de vapeur générée. Dans un cycle de fabrication d'acier complet (environ 30 à 40 minutes), le soufflage à l'oxygène dure environ 15 minutes. Par conséquent, la génération de poussières, qui est directement liée au soufflage à l'oxygène, est discontinuée;

2. Suppression de la combustion des gaz de convertisseur à oxygène et stockage des gaz de convertisseur à oxygène dans un gazomètre pour utilisation ultérieure ;

Il est possible d'étouffer la combustion des gaz de convertisseur à oxygène dans le système de ventilation primaire en évitant d'alimenter le système en air ambiant. Pour ce faire, en général, un bandeau rétractable refroidi à l'eau est abaissé au-dessus de la bouche du convertisseur. Ainsi, le monoxyde de carbone est retenu et les gaz de convertisseur à oxygène peuvent servir de source d'énergie à d'autres endroits. Le gaz est ensuite épuré pour correspondre aux conditions exigées des gaz de grille et peut être stocké dans un gazomètre. L'installation éventuelle d'une chaudière de récupération de chaleur peut permettre de récupérer la chaleur sensible présente dans le gaz de convertisseur à oxygène non consommé. Du fait de leur faible taux de CO au début et à la fin du soufflage, les gaz de convertisseur à oxygène ne sont pas recueillis à ces moments-là. Pendant ces périodes longues de quelques minutes, ils sont brûlés à la torche (voir Figure 8.11).

Actuellement, la tendance est à la suppression de la combustion suivie d'une récupération des gaz de convertisseur à oxygène. Il y a deux raisons à cela :

- La suppression de la combustion réduit la quantité de gaz de combustion et par conséquent les coûts d'aspiration et d'élimination des poussières. La réduction des débits de gaz résiduels caractéristique de la combustion supprimée entraîne une concentration de matières supérieure des gaz bruts. Donc, pour obtenir une concentration de poussières dans le gaz nettoyé identique, le système de captage des poussières doit être plus efficace (voir EP.1);
- Les systèmes à combustion complète permettent d'obtenir d'importantes quantités de vapeur. Toutefois, la production discontinue de la vapeur empêche de l'utiliser en permanence. Les gaz de convertisseur à oxygène récupérés sont bien plus flexibles d'utilisation. L'utilisation de gaz de

convertisseur à oxygène avec des gaz de haut fourneau et des gaz de cokerie comporte des avantages considérables quand elle permet de remplacer d'importantes quantités d'énergie payante, comme le gaz naturel. Dans certaines installations, les gaz de convertisseur à oxygène servent principalement à la valorisation des gaz de haut fourneau [Joks, 1995]. Les gaz de cokerie et le gaz naturel ne sont utilisés que dans les stations de seconde ou troisième priorité (régulation en cascade) [Joks, 1995].

Le Tableau 8.10 montre les avantages et les inconvénients d'une combustion supprimée prévue pour des ratios air/carburant inférieurs à 0,1.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Moindre débit volumique de gaz résiduaire • composants transportant le gaz de dimension plus importante pour des vitesses dans la hotte plus élevées • Moindre consommation d'énergie des ventilateurs pour gaz résiduaires • Moindres besoins en eau pour le refroidissement des effluents gazeux • Systèmes de captage des poussières conçus pour des débits volumiques d'effluents gazeux réduits • Possibilité d'utiliser les effluents gazeux • Émissions de gaz réduites pour les coulées effervescentes du fait de l'utilisation de bandeaux de différents types 	<ul style="list-style-type: none"> • Technologies d'équipement complexes du point de vue des normes en matière de techniques de sécurité, • Besoin de composants additionnels, • Mesures techniques de sécurité supplémentaires.

Tableau 8.10 : Avantages et inconvénients de la suppression de la combustion ; une attention particulière est portée à l'utilisation des gaz de convertisseur à oxygène [EUROFER convertisseur à oxygène, 1997]

Le Tableau 8.5 montre la composition des gaz de convertisseur à oxygène dans le cas de la combustion supprimée. Quand la combustion est complète, la teneur en CO est bien moins importante, et celle en CO₂ est par conséquent plus élevée.

Principales économies d'énergie réalisées :

Le tableau 8.11 donne des exemples de formation de vapeur au moyen de chaudières de récupération de chaleur dans les aciéries à l'oxygène de Thyssen Stahl AG en Allemagne.

Paramètre	Unité	Ruhrort	Beeckerwerth	Bruckhausen
Capacité	[t LS/coulée]	4 x 140	3 x 250	2 x 380
Facteur d'introduction d'air*	-	>2,0	0,4	0,15
Débit de gaz de combustion	[Nm ³ /t LS]	250	115	87

Production de vapeur	[kg vapeur/t LS]	380	130	80
----------------------	------------------	-----	-----	----

- Le facteur d'introduction d'air indique combien d'air est introduit dans la conduite des gaz de combustion. 0 : aucun air introduit ; 2 : la quantité d'air introduite est deux fois plus importante que la quantité de gaz de convertisseur à oxygène initiale.

Tableau 8.11 : Génération de vapeur au moyen de chaudières de récupération de chaleur dans les aciéries à l'oxygène de Thyssen Stahl AG source [Joks, 1995]

Avec un système à combustion complète muni d'une chaudière de récupération de chaleur, 80 % de la chaleur en sortie peut être récupérée comme source d'énergie. Dans un système sans combustion, seuls 10 à 30 % (0,1 à 0,3 GJ/t d'acier brut liquide) de l'énergie totale dégagée est récupérée dans la chaudière de récupération de chaleur [Joks, 1995]. La récupération des gaz de convertisseur à oxygène, permet, en fonction des facteurs d'introduction d'air, de capter 50 à 90 % d'énergie supplémentaire sous forme d'énergie chimique (CO). En cas de brûlage du gaz à la torche, cette énergie est perdue.

En cas de combustion supprimée, avec récupération des gaz de convertisseur à oxygène et utilisation d'une chaudière de récupération de la chaleur sensible, l'énergie récupérée totale peut atteindre les 90 % [Arimitsu, 1995; Joks, 1995].

La récupération des gaz de convertisseur à oxygène permet d'économiser entre 0,6 et 1,0 GJ/t d'acier brut liquide par rapport au brûlage à la torche. Le système OG étanche, mis au point par Nippon Steel Corporation, permet une économie d'énergie de 0,98 à 1,08 GJ/t d'acier brut liquide et une augmentation de la production d'acier fondu de 0,4 % par rapport au brûlage à la torche.

Applicabilité : La récupération de la chaleur et la récupération des gaz de convertisseur à oxygène peuvent être mis en œuvre dans les nouvelles et les anciennes installations.

Effets croisés : La récupération des gaz de convertisseur à oxygène nécessite un lavage complet du gaz brut afin de remplir les conditions du gaz de grille. Quand la combustion est complète, il y a rejet de gaz de combustion dans l'atmosphère. Les conditions de rejet dans l'atmosphère sont en règle générale moins strictes que celles exigées des gaz de grille.

Le recours à la combustion supprimée permet de réduire les rejets totaux dans l'atmosphère. De plus, le débit de gaz de combustion (beaucoup) plus important issu des systèmes à combustion complète implique une réduction des particules moins efficace.

La récupération d'énergie peut permettre de ménager des sources d'énergie non renouvelable.

La récupération des gaz de convertisseur à oxygène est potentiellement dangereuse et nécessite des mesures de précautions particulières (risques d'explosion ou de fuite de monoxyde de carbone).

Installations de référence : La récupération d'énergie au moyen d'un système à combustion complète ou supprimée est très répandue dans les aciéries à l'oxygène du monde entier. La tendance est à l'utilisation de systèmes sans combustion, en particulier du fait de leurs avantages logistiques par rapport aux systèmes à combustion complète.

Données opérationnelles : Non disponibles.

Aspects économiques : Pour un système sans combustion, les investissements estimés étaient compris entre 5 et 25 ECU₁₉₉₆/GJ. Selon les circonstances locales, la période de recouvrement de l'investissement peut être inférieure à trois mois.

Documents de référence : [Arimitsu, 1995; Jokschi, 1995; InfoMil, 1997]

PI.2 *Abaissement de la teneur en zinc des laitiers*

Description : Une teneur en zinc élevée dans le haut-fourneau est néfaste à son fonctionnement correct. Le recyclage des matériaux riches en zinc est donc soumis à des contraintes. Les poussières et les boues issues du dépoussiéreur de gaz de convertisseur à oxygène peuvent contenir des concentrations de métaux lourds relativement élevées, en particulier en ce qui concerne le zinc (Zn) (voir Tableau 8.9). Ce zinc est principalement issu des ferrailles chargées dans le convertisseur à oxygène. Les quantités de zinc dégagées peuvent fortement varier d'une coulée à l'autre, en fonction du type de ferrailles de commerce chargées et des conditions de soufflage. Le même problème s'applique, à un moindre degré, au plomb (Pb) et au cadmium (Cd).

Pour remplir les conditions de recyclage de la poussière, il est possible d'utiliser des ferrailles ayant une faible teneur en zinc, ce qui exclut celles contenant des produits galvanisés.

Principal niveau d'émission atteint : Certaines installations pratiquent une politique très stricte d'utilisation de ferrailles ayant un faible taux de zinc. Les boues issues du dépoussiérage des gaz de convertisseur à oxygène ont une teneur en Zn d'environ 0,1 à 0,3 %, ce qui permet d'atteindre un taux de recyclage des poussières dans l'installation d'agglomération de 100 %.

Applicabilité : La mise en œuvre est possible dans les nouvelles et les anciennes installations. Toutefois, elle dépend largement de la disponibilité de ferrailles pauvres en Zn, Pb et Cd et des considérations économiques liées à l'utilisation de ce type de ferrailles, ce qui exclut de pouvoir l'appliquer à tous les cas.

Effets croisés : Cette solution devrait être considérée comme d'application locale. Son effet global est probablement nul. En effet, d'importantes quantités d'acier galvanisé sont produites dans le monde entier, ce qui entraîne la production de boues ayant une teneur en zinc relativement élevée lorsque l'acier est mis à la disposition de l'industrie sidérurgique sous forme de ferrailles. Dans la plupart des convertisseurs à oxygène, le zinc est principalement émis pendant les premières minutes du soufflage à l'oxygène.

Installations de référence : Hoogovens IJmuiden, IJmuiden (Pays-Bas), British Steel, Scunthorpe (Royaume-Uni) et Sidmar, Gand (Belgique).

Données opérationnelles : Fonctionne sans problème.

Aspects économiques : Les ferrailles à faible teneur en zinc sont plus chères et augmentent les coûts par tonne d'acier brut liquide produit. Elles devraient devenir de plus en plus difficiles à obtenir. Cela étant, l'utilisation de ces ferrailles permet le recyclage des boues et des poussières issues du lavage des gaz de convertisseur à oxygène.

Documents de référence : [Deckers, 1995; Pazdej, 1995; InfoMil, 1997]

PI.3 Prélèvement et analyse d'échantillons d'acier en continu

Description : La sidérurgie à l'oxygène est un procédé discontinu. Chaque charge de fonte doit être affinée jusqu'à ce que la qualité de l'acier souhaitée soit atteinte. Afin de surveiller la progression du processus, des échantillons sont prélevés dans le bain d'acier pour analyse. Ce sont les résultats de cette analyse qui permettent de déterminer le temps additionnel de soufflage à l'oxygène nécessaire pour atteindre la qualité de l'acier souhaitée.

La précision atteinte par les derniers systèmes de modélisation dynamique et de contrôle rend le prélèvement d'échantillons pendant le soufflage superflu. Un échantillon de contrôle est prélevé pendant la coulée. Cette méthode permet de réduire à néant les émissions dues au prélèvement d'échantillons.

Il était autrefois nécessaire d'interrompre le soufflage à l'oxygène et de basculer le convertisseur pour pouvoir prélever l'échantillon. L'opération était longue et augmentait les émissions du convertisseur à oxygène. Dans les installations modernes, les échantillons sont prélevés en continu pendant le soufflage à l'oxygène au moyen d'une sub-lance. Cela permet à l'affinage de se poursuivre pendant l'analyse des échantillons. Les cycles de production s'en trouvent raccourcis et la productivité augmentée. Par rapport à la méthode précédente de prélèvement d'échantillons, les émissions sont moins importantes, puisque la position du convertisseur ne doit pas être modifiée.

Principales réussites : Le temps de production par lot se trouvant diminué, la productivité augmente. Les rejets dans l'atmosphère diminuent puisqu'il n'est pas nécessaire de basculer le convertisseur à oxygène.

Applicabilité : Applicable dans toutes les nouvelles installations. Les installations existantes doivent subir une mise à niveau pour pouvoir recevoir ce système de prélèvement d'échantillons.

Effets croisés : Pas d'effets croisés connus.

Installations de référence : Les installations modernes ont recours au prélèvement d'échantillons en continu ; Sidmar à Gand (Belgique) utilise la modélisation dynamique.

Données opérationnelles : Non disponibles.

Aspects économiques : Les coûts diminuent sans doute du fait d'une productivité accrue.

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

EP.1 Dépoussiérage primaire

Description : Le soufflage à l'oxygène entraîne l'émission de gaz de convertisseur, chargés d'une grande quantité de particules. Afin d'être récupérés pour servir de carburant (voir PI.1), les gaz de convertisseur à oxygène doivent remplir certaines conditions. Les gaz émis suite à la combustion des gaz de convertisseur à oxygène dans la conduite des fumées doivent respecter les normes d'émission locales. De nos jours, la plupart des installations récupèrent les gaz de convertisseur à oxygène pour s'en servir comme carburant. Pour la combustion des gaz de convertisseur à oxygène, les systèmes à combustion complète injectent de l'air ambiant dans le système de ventilation primaire, ce qui entraîne des débits importants de fumées (2 000 à 3 000 Nm³/t d'acier brut liquide) ; en revanche, les systèmes sans combustion ne génèrent que des gaz de convertisseur à oxygène (50 à 100 Nm³/t d'acier brut liquide) (voir Tableau 8.5). Il en résulte des différences significatives dans les dimensions des installations de dépoussiérage primaire. Du fait de son débit de gaz résiduels plus faible, la suppression de la combustion entraîne des concentrations de matières pour le gaz brut supérieures. Pour une charge identique de poussières dans les gaz nettoyés, une meilleure efficacité du système de récupération des poussières est donc nécessaire. Du point de vue du captage des poussières, le principe de la combustion supprimée permet donc d'utiliser des systèmes de dépoussiérage prévus pour des débits volumiques moindres tout en atteignant des taux de captage élevés.

Le dépoussiérage primaire est généralement effectué au moyen de Venturis (pour environ 90 % des installations) ou de dépoussiéreurs électriques secs. Les grosses particules sont généralement éliminées (au moyen d'un déflecteur par exemple) avant d'atteindre le Venturi ou le précipitateur électrostatique.

Il convient d'accorder une attention particulière aux émissions de particules à partir du trou de la lance, lesquelles peuvent atteindre les 50 g/t d'acier liquide. Il est possible de réduire ces émissions grâce à une « pierre de meule » ajustable, qui couvre le trou pendant le soufflage à l'oxygène et/ou par l'injection de gaz inertes (N₂/CO₂) ou de vapeur dans le trou de la lance afin de dissiper les particules. Certains trous de lance sont également combinés à des dispositifs de nettoyage de la lance.

Principal niveau d'émission atteint :

Dépoussiérage à sec et combustion supprimée : Grâce à la précipitation électrostatique, les concentrations de poussières résiduelles dans les gaz de convertisseur à oxygène peuvent parfois passer en dessous des 10 mg/Nm³ (l'équivalent de 0,5 à 1,0 g/t d'acier brut liquide), et en tout cas certainement en dessous des 50 mg/Nm³. Avant le traitement du gaz dans le précipitateur électrostatique, les grosses poussières sont éliminées dans une zone de déviation et le gaz est conditionné dans un système de refroidissement par évaporation.

Dépoussiérage à sec et libre combustion : Aucune donnée de fonctionnement disponible.

Épuration et combustion supprimée : On commence par éliminer les grosses particules au moyen d'un séparateur humide, puis les particules fines avec un Venturi. Si les concentrations de particules dans les gaz de convertisseur à oxygène après épuration sont généralement situées entre 15 et 50 mg/Nm³, elles peuvent également être inférieures à 10 mg/Nm³.

Épuration et libre combustion : La teneur en poussière résiduelle suite à la combustion des gaz de convertisseur à oxygène dans la conduite des gaz de combustion et à leur épuration au moyen de Venturis est comprise entre 10 et 50 mg/Nm³.

Applicabilité : Peut être mis en œuvre dans les nouvelles et les anciennes installations. De plus en plus d'installations ont recours à des précipitateurs électrostatiques secs. Ainsi, lors de la mise à niveau de

l'aciérie de Voest-Alpine Stahl (Linz, Autriche), un système de dépoussiérage à sec a été installé pour remplacer le système humide existant.

Effets croisés : Les poussières et les boues extraites sont susceptibles de contenir de fortes concentrations de zinc, ce qui peut être un obstacle à leur réutilisation. L'utilisation de ferrailles dépourvues de Zn peut permettre le recyclage des boues et poussières issues du convertisseur à oxygène dans l'installation d'agglomération (voir PI.2). Les installations ayant recours à des précipitateurs électrostatiques secs peuvent transformer les déchets solides en briquettes agglomérées à chaud et les recycler directement dans la fabrication de l'acier (voir EP.4).

De plus, le dépoussiérage par voie humide entraîne un débit d'eaux usées contaminées (voir 8.2.2.3.1).

En outre, un dépoussiéreur a besoin d'énergie pour fonctionner. Pour un système sans combustion, cela correspondrait à une consommation comprise entre 0,001 et 0,005 GJ/t d'acier pour un Venturi et moins de 0,001 GJ/t d'acier pour un précipitateur électrostatique sec.

Pour un système à combustion ouverte, cela correspondrait à une consommation comprise entre 0,04 et 0,15 GJ/t de fonte brute pour un Venturi et moins de 0,005 GJ/t d'acier pour un précipitateur électrostatique sec.

Installations de référence :

Dépoussiérage à sec et combustion supprimée : Thyssen Stahl AG, Duisburg (Allemagne) ; LD Melt Shop 3, Voest Alpine Stahl AG, Linz (Autriche) ;

Dépoussiérage à sec et combustion ouverte : non disponibles.

Épuration et combustion supprimée : aciérie à l'oxygène 2 ; Hoogovens IJmuiden, IJmuiden (Pays-Bas).

Épuration et combustion ouverte : aciérie à l'oxygène 1 ; Hoogovens IJmuiden, IJmuiden (Pays-Bas).

Aspects économiques : Investissement : 24 à 40 millions ECU₁₉₉₆ pour une aciérie d'1 Mt/an. Opération : Entre 2 et 4 ECU₁₉₉₆/t d'acier brut liquide.

Moteurs de la mise en œuvre : La purification est nécessaire à un captage efficace des gaz de convertisseur à oxygène. Quand il n'est pas capté, le gaz de convertisseur à oxygène doit être traité pour respecter les limites d'émission existantes.

Documents de référence : [Joks, 1995; Köller, 1995; EC BOF, 1995; InfoMil, 1997].

EP.2 Réduction des quantités de particules issues du prétraitement de la fonte brute

Description : Les trois étapes du prétraitement de la fonte brute (désulfuration, séparation du laitier et transfert et pesage de la fonte), donnent lieu à des émissions de particules. Le facteur d'émission de poussières (avant réduction) peut varier entre 110 et 830 g/t d'acier brut liquide [EUROFER BOF, 1997]. Ces émissions sont captées (figure 8.16) et sont généralement traitées au moyen de filtres en tissu. Les postes de désulfuration sont le plus souvent fermés. Parmi les mesures cruciales pour capturer les poussières figurent l'utilisation de couvercles de poche, l'introduction contrôlée d'agents de désulfuration, les opérations de décrassage intégrées et l'emploi d'une enceinte munie d'un système d'extraction, ainsi que l'installation d'une porte qui se déplace au fur et à mesure du processus.

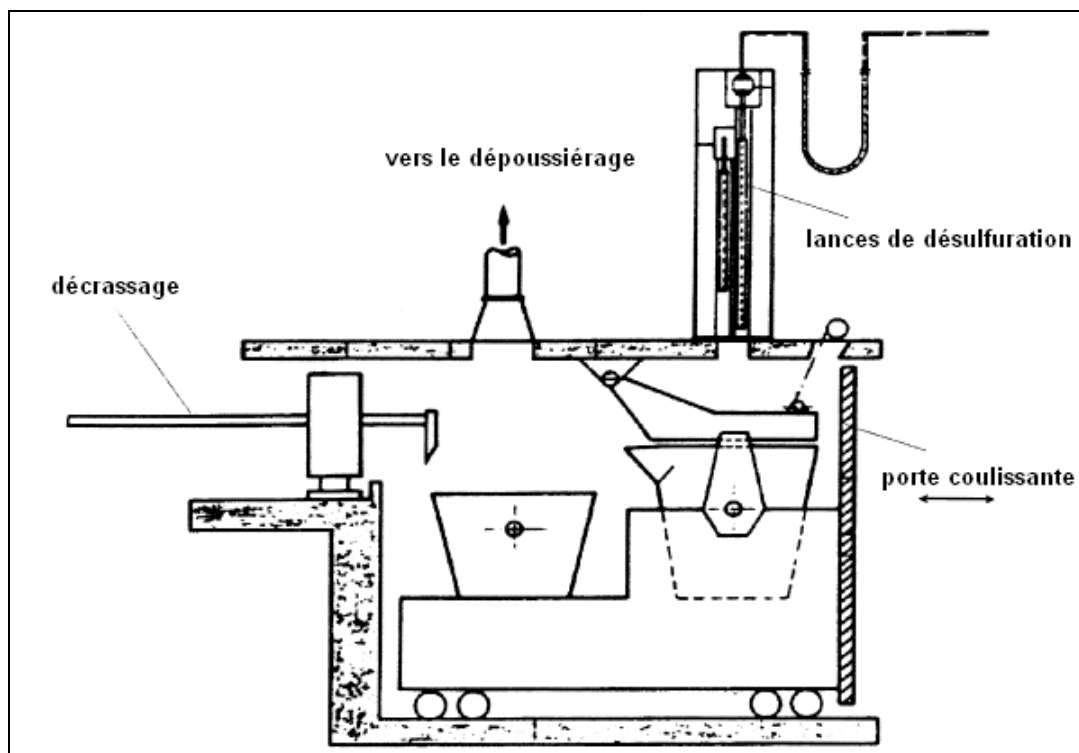


Figure 8.16 : Dépoussiérage dans un atelier de désulfuration de la fonte – [EUROFER BOF, 1997]

Les gaz extraits peuvent contenir jusqu'à $10\,000\text{ mg/Nm}^3$ de poussières. On a parfois recours à des séparateurs électrostatiques secs.

L'efficacité de l'évacuation du système de ventilation joue un rôle important. La position des hottes d'aspiration doit être optimisée pour atteindre une bonne efficacité d'extraction. Le débit de gaz de combustion est compris entre $30\,000$ et $40\,000\text{ Nm}^3/\text{h}$.

Principaux niveaux d'émission atteints : Quand les particules sont extraites avec efficacité et filtrées au moyen d'un filtre en tissu (ou d'un précipitateur électrostatique), il est possible de faire descendre les niveaux d'émission en dessous de 10 mg/Nm^3 , soit environ 1 g/t d'acier brut liquide (voir le Tableau 8.3).

Applicabilité : Peut être mis en œuvre dans les nouvelles et les anciennes installations.

Effets croisés : Les pompes aspirantes consomment de l'énergie. Des déchets solides sont produits. De par leur forte teneur en Fe, ceux-ci peuvent être recyclés dans le processus d'agglomération par frittage. La composition des poussières issues de la désulfuration de la fonte brute dépend en grande partie de l'agent de désulfuration employé.

Installations de référence : De nombreuses installations dans le monde pratiquent la réduction des particules pendant le prétraitement de la fonte brute.

Données opérationnelles : Aussi bien les filtres en tissu que les précipitateurs électrostatiques peuvent être employés sans problèmes.

Aspects économiques : Investissement : environ 10 millions ECU₁₉₉₆.

Moteurs de la mise en œuvre : Les principaux moteurs sont les limites d'émission et autres obligations légales.

Documents de référence : [InfoMil, 1997; EC BOF, 1995]

EP.3 dépoussiérage d'effluents gazeux secondaires

Description : Jusqu'au début des années 1970, les aciéries à l'oxygène construites ne comportaient pas de systèmes de captage de poussière secondaires. C'est pourquoi la plupart des installations de captage de poussière secondaires ou primaires subordonnées sont des mises à niveau. Leur efficacité dépend en grande partie des conditions locales, qui jouent un rôle primordial dans le choix et la conception des systèmes de captage (enceintes, hottes etc.). Les débits de gaz de combustion sont bien souvent déterminés en fonction des conditions locales et de l'espace disponible pour l'installation de réseaux de canalisations, ainsi que des dimensions des conduites. Il est quasiment impossible de déterminer l'efficacité du captage à l'avance avec certitude. Les tentatives d'évaluation sont rendues plus compliquées par l'extrême difficulté que pose la mesure des résultats. Les taux d'efficacité de captage réalisables présentés sur la Figure 8.17 proviennent de tests effectués en atelier et d'essais sur modèle, de calculs et d'observations empiriques. Ils peuvent varier en fonction de la source d'émission prise en compte et de la technologie employée. Même avec une conception optimale et un débit de gaz résiduaires élevé permettant d'obtenir des conditions idéales sur le plan technique, il n'y a aucune garantie d'atteindre un taux de récupération de 100 % à long terme tout au long du processus de sidérurgie à l'oxygène. Des changements ou des anomalies dans les conditions de fonctionnement ou dans les facteurs environnementaux – comme des courants d'air anormaux dans les bâtiments des installations – peuvent entraîner des émissions secondaires irrécupérables aussi bien qu'inévitables de poussières qui s'échappent ensuite par les lanterneaux des toits.

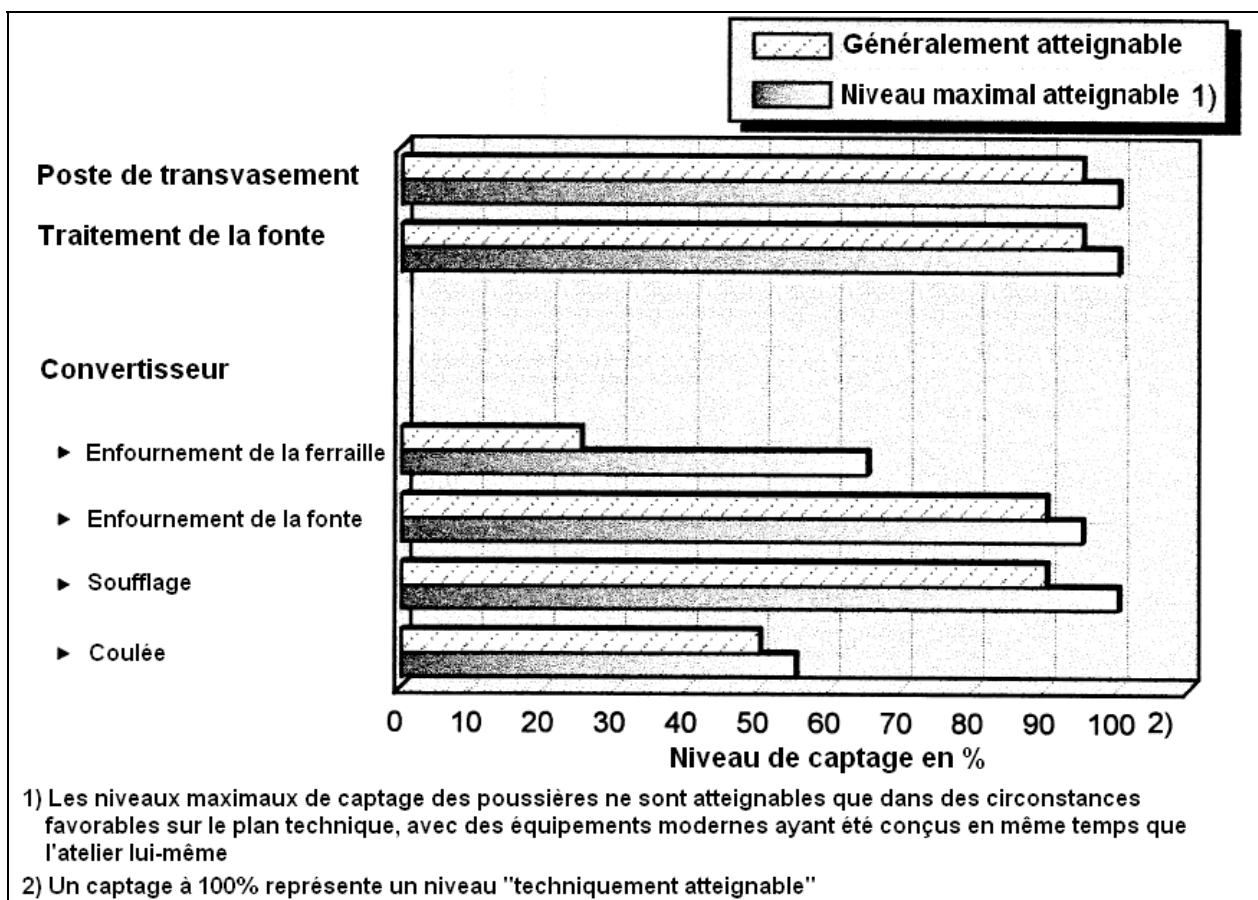


Figure 8.17 : Niveau réalisable pour le captage des poussières d'effluents gazeux secondaires dans les aciéries à l'oxygène – [EUROFER BOF, 1997]

Les effluents gazeux secondaires sont émis au cours des opérations suivantes :

- transvasement et décrassage de la fonte,
- chargement du convertisseur à oxygène,
- coulée de l'acier brut liquide et du laitier depuis les convertisseurs à oxygène et les poches de coulée,
- traitements métallurgiques secondaires et coulée,
- manipulation des additifs,
- coulée continue.

Les émissions secondaires de poussières estimées varient entre 100 et 2 000 g/t d'acier brut liquide, le chargement du convertisseur à oxygène et les opérations de coulée en formant la majeure partie (entre 130 et 1 230 g/t d'acier brut liquide) [EUROFER BOF, 1997]. Parmi les raisons possibles de ce taux de dispersion élevé figurent la difficulté à délimiter clairement les émissions secondaires et la connaissance insuffisante des mesures de captage. C'est ainsi que s'explique l'existence d'une « zone grise » de superposition entre les informations disponibles sur les substances relâchées et celles sur les émissions réelles suite à la mise en œuvre de mesures appropriées de récupération et de nettoyage des gaz résiduels.

Enfournement et coulée

L'enfournement et la coulée de la fonte et des ferrailles du convertisseur à oxygène donnent lieu à des émissions de particules qui n'ont pas été réduites (voir figure ci-dessus). Du fait du basculement du convertisseur à oxygène, ces émissions ne peuvent être capturées de manière efficace par le système de ventilation primaire. Le plus souvent, l'installation d'un système de ventilation secondaire pour l'évacuation des émissions résultant de l'enfournement et de la coulée est donc nécessaire.

Ce système de ventilation secondaire est généralement constitué d'une hotte de captage des fumées diffuses située juste au-dessus du convertisseur en position basculée et d'une niche entourant les trois autres quarts du convertisseur (Figure 8.18). En règle générale, la hotte de captage est située le plus près possible du convertisseur à oxygène. La conception de certaines installations existantes ne permet toutefois pas la présence d'une hotte de captage près du convertisseur. Il est alors possible de l'installer près du toit, ce qui aura pour conséquence (en fonction de la dimension de la hotte et des volumes extraits) de faire baisser l'efficacité du système.

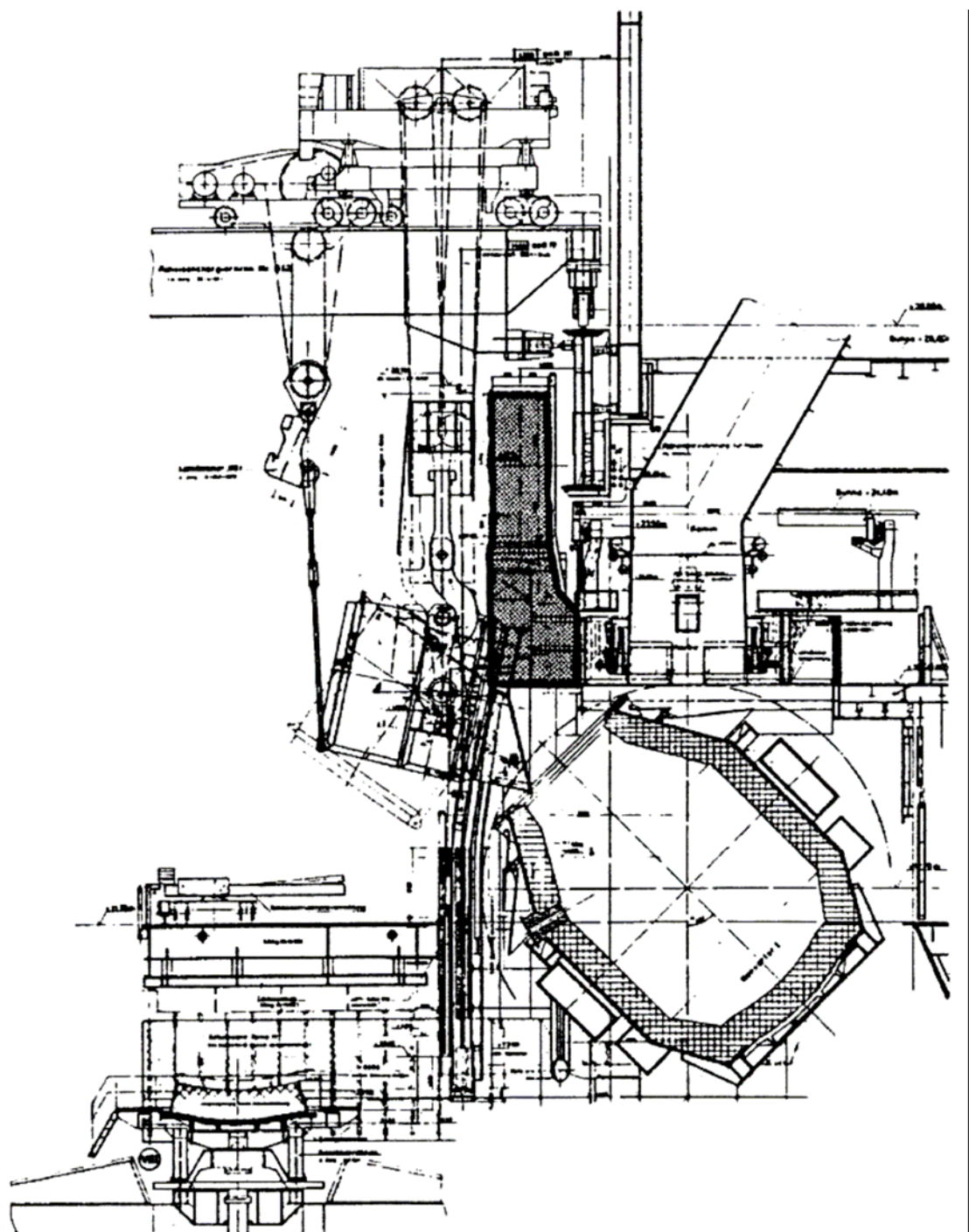


Figure 8.18 : Captage des émissions secondaires pendant l'enfournement de la fonte dans le convertisseur à oxygène – [EUROFER BOF, 1997]; le même système est employé pour l'enfournement des ferrailles.

Le débit des gaz de combustion issus du dépoussiérage secondaire est compris entre 400 000 et 1 300 000 Nm³/h [InfoMil, 1997] et leur nettoyage a généralement lieu au moyen d'un filtre en tissu (même si des dépoussiéreurs électriques secs sont également employés). Le Tableau 8.12 donne quelques exemples

pour différents systèmes de dépoussiérage secondaires avec des débits compris entre 650 000 et 1 000 000 Nm³/h.

Installation	Capacité du convertisseur [t]	Numéro du BOF	Temps d'enfournement de la fonte [s]	Température des gaz résiduaires [°C]	Volume de gaz résiduaires [m ³ /h]
OX 1	200	2	-	120	680000
OX 2	350	3	240	90	1 000 000
OX 3	300	2	40		950 000
OX 4	200	2	120	200	1 020 000
OX 5	220	2	-	130	750 000
OX 6	300	2	300	90	870 000
OX 7	230	2	40	135	960 000
OX 8	275	3 ¹⁾	90	150	650 000
OX 9	210	3	240	150	800 000

1) exploitation de deux convertisseurs

Tableau 8.12 : Données issues de systèmes de dépoussiérage des émissions secondaires issues du chargement et de la coulée des convertisseurs à oxygène - [EUROFER BOF, 1997]

Transvasement de la fonte

Le transfert de la fonte depuis la poche tonneau jusqu'aux poches de chargement se fait dans des ateliers fermés (Figure 8.19). Une salle de contrôle intégrée permet de surveiller directement le transfert. La poche de fonte passe au dessous du niveau du laminoir sur un chariot transbordeur muni d'un écran à l'avant qui permet de sceller la voûte pour former une chambre fermée. Quand il est impossible de sceller complètement la chambre, il reste la possibilité de monter une hotte au-dessus de la poche (Figure 8.20).

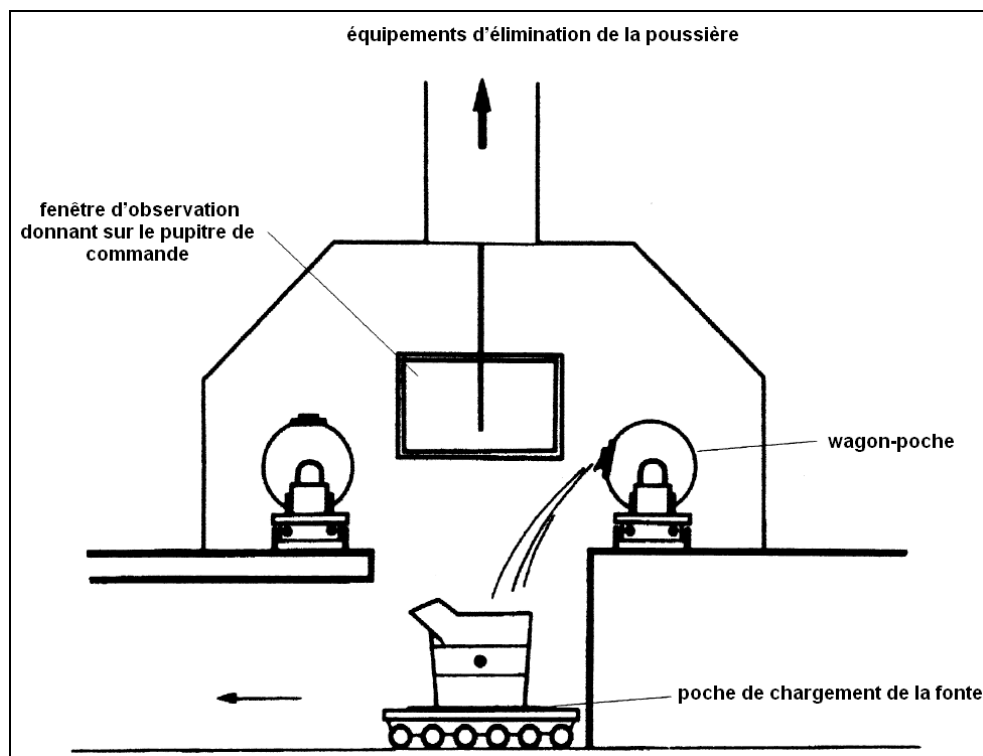


Figure 8.19 : Captage de la poussière de transvasement (de la poche tonneau vers la poche de chargement) de la fonte [EUROFER BOF, 1997]

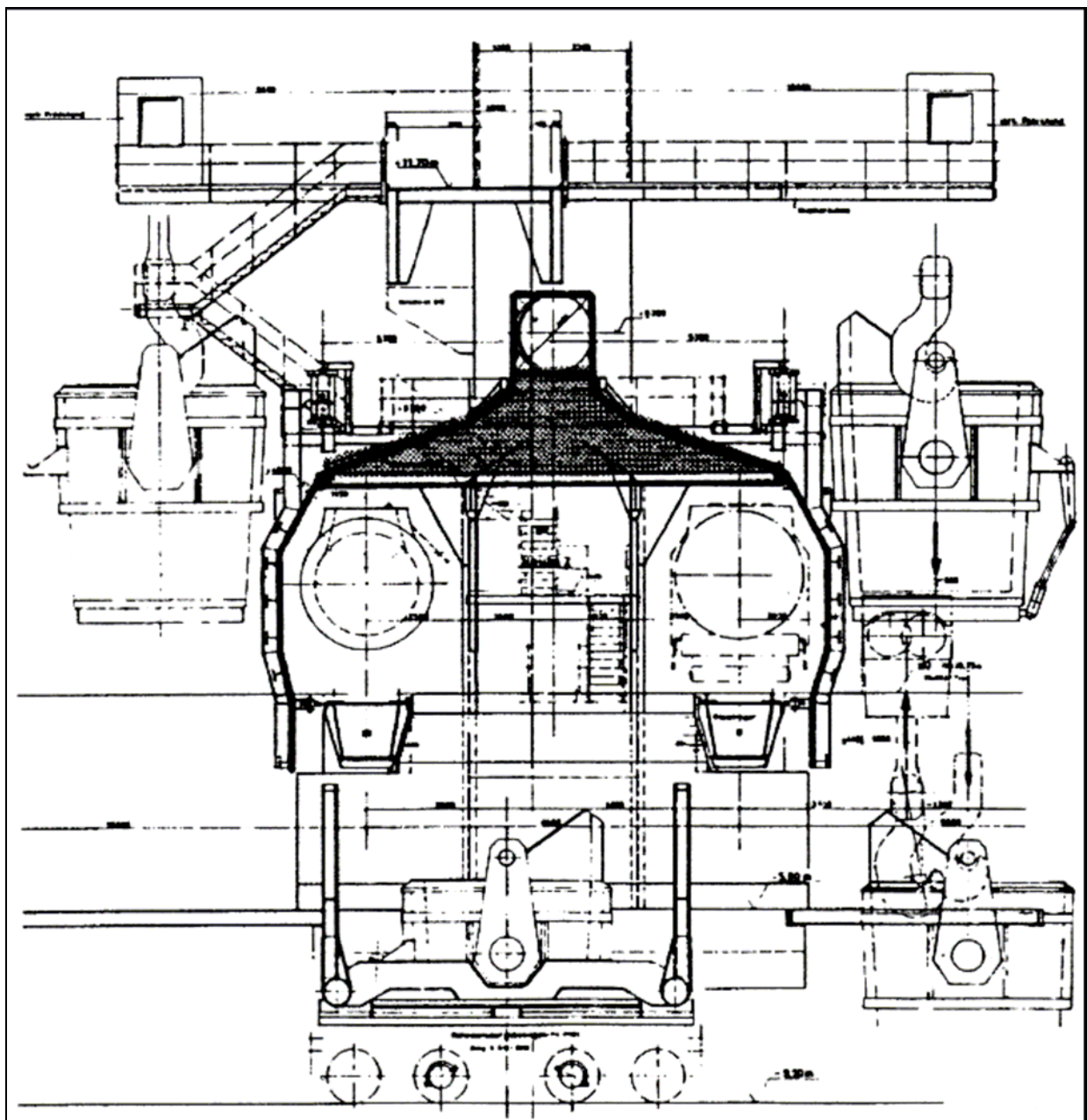


Figure 8.20 : Captage de la poussière depuis un poste de transvasement de la fonte [EUROFER BOF, 1997]

Une nouvelle technique de contrôle des émissions de poussières issues du transvasement de la fonte depuis la poche tonneau (ou mélangeur pour fonte) vers la poche de chargement consiste à créer une atmosphère inerte en versant du dioxyde de carbone solide dans la poche de coulée afin de limiter la formation de poussière d'oxydes. La vaporisation de « glace sèche » permet de libérer de façon continue du CO_2 gazeux. Puisque ce gaz est plus lourd que l'air, il forme sur la surface du bain une couche dépourvue d'oxygène qui empêche l'oxydation du fer. Quand il est chauffé, le CO_2 s'élève par effet

Chapitre 8

thermique et protège le fer liquide versé [UNEP, 1997 ; Klein, 1993]. La Figure 8.21 représente les opérations de transvasement avec et sans suppression des fumées/poussières.



Figure 8.21 : Transvasement de la fonte depuis la poche tonneau vers la poche de chargement avec ou sans suppression des fumées/poussières au gaz inerte (CO₂) [UNEP, 1997]

La procédure optimale de production d'une atmosphère inerte dans la station de transfert du fer chaud est la suivante :

- Rendre le contenu de la poche de coulée vide inerte par injection d'un apport en CO₂ maximal pendant environ 30 secondes ;
- Le maintenir inerte pendant le transfert du métal grâce à un débit minimal de CO₂.

Bien que ce gaz ne soit pas toxique, une atmosphère trop riche en CO₂ peut être la source des problèmes de sécurité sur le lieu de travail et causer des asphyxies. Des concentrations maximales autorisées sur le lieu de travail ont été établies afin de limiter l'exposition du personnel au CO₂, et une ventilation ainsi qu'un système de contrôle adéquats ont été installés afin d'empêcher une exposition excessive [UNEP, 1997].

Pour une consommation spécifique de CO₂ de 2,4 kg/t, les résultats suivants ont été atteints :

- réduction des émissions de poussière de 87 %,
- limites de CO et CO₂ loin d'être dépassées [UNEP, 1997].

Décrassage de la fonte

Pour le décrassage, la poche de coulée qui transporte la fonte, inclinée à l'aide d'une grue ou d'un berceau de basculement, passe en position décrassage. La section transversale libre des hottes est limitée par des membranes internes adaptées afin d'atteindre des vitesses d'admission élevées. Les hottes de type déplaçable peuvent servir à plusieurs postes de décrassage. Les postes de décrassage sont généralement séparés par des cloisons qui leur laissent tout juste assez de liberté de course pour réaliser cette opération. Les ouvertures sont fermées par des écrans d'étanchéité placés sur le chariot. La Figure 8.22 montre le système d'extraction de la poussière d'un poste de décrassage (avec désulfuration).

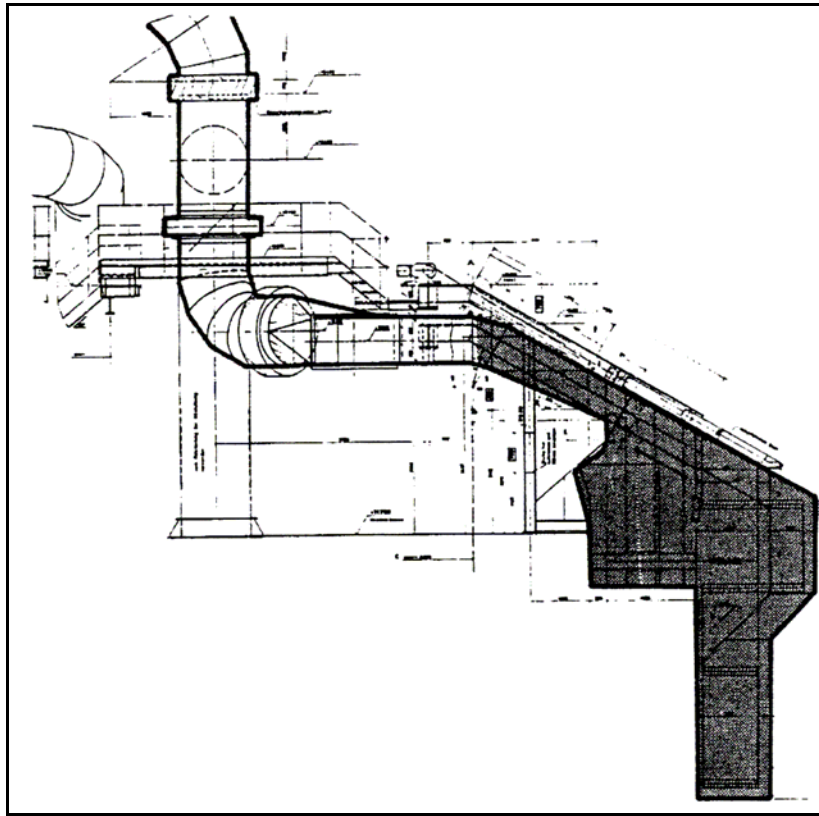


Figure 8.22 : Captage des poussières dans un poste de décarassage – [EUROFER BOF, 1997]

Principaux niveaux d'émission atteints : Les émissions dépendent principalement de l'efficacité avec laquelle les particules générées durant l'enfournement et la coulée sont évacuées. Les émissions de particules du système de ventilation secondaire peuvent représenter moins de 10 mg/Nm^3 quand les gaz extraits sont traités au moyen d'un filtre en tissu. Selon le Tableau 8.3, il est possible de faire passer les émissions de poussières en dessous des 5 g/t d'acier brut liquide pour chacun des types de rejets dans l'atmosphère mentionnés.

Bien que probablement inférieures, les performances d'un précipitateur électrostatique doivent être considérées en relation avec l'efficacité de la capture de particules des capuchons secondaires.

Dans certaines installations (au Japon), le toit tout entier est fermé et évacué, ce qui permet d'atteindre une efficacité de 100 %.

Applicabilité : Le dépoussiérage secondaire peut être appliqué aux installations existantes. La conception de certaines installations existantes limite toutefois les possibilités d'évacuation correcte.

Effets croisés : Le dépoussiérage secondaire produit des déchets solides (jusqu'à 1 kg/t d'acier brut liquide). La réutilisation de ces déchets solides riches en fer dépend en grande partie de leur teneur en ce métal. Certaines installations sont en mesure de les réutiliser ou de s'en débarrasser.

Le fonctionnement d'un dispositif de ventilation et de lavage des particules nécessite de l'énergie. Pour la ventilation secondaire, une capacité d'évacuation comprise entre $40\,000$ et $1\,300\,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ est nécessaire. Cela correspondrait à une consommation d'énergie située entre $0,72$ et $7,2 \text{ MJ}/(1\,000 \text{ Nm}^3)$ traitées, quand un filtre en tissu est employé. La consommation d'énergie dépend principalement de la

chute de pression et de la capacité du ventilateur associé. La consommation spécifique d'énergie liée au dépoussiérage secondaire est relativement élevée par rapport à celle des autres opérations de dépoussiérage (Figure 8.23).

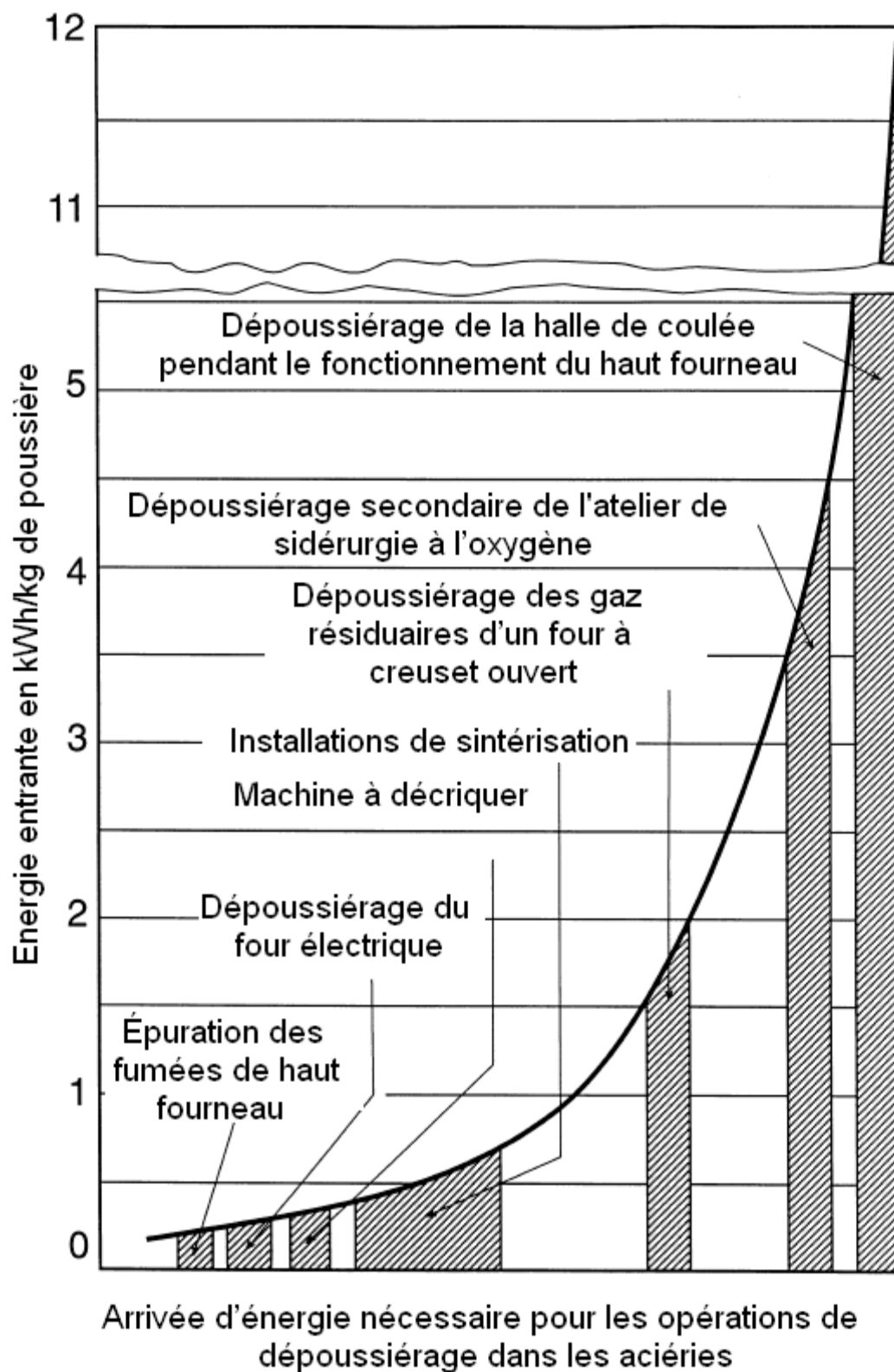


Figure 8.23 : Apport d'énergie spécifique pour les opérations de dépoussiérage dans les aciéries intégrées [Phillip, 1987]

Installations de référence : De nombreuses installations de par le monde ont recours au dépoussiérage secondaire.

Données opérationnelles : Aussi bien les filtres en tissu que les précipitateurs électrostatiques peuvent être exploités sans problème. Les aspects les plus compliqués du dépoussiérage secondaire sont l'efficacité d'évacuation et le recyclage des déchets solides produits.

Aspects économiques : Investissement : entre 12 et 20 millions ECU₁₉₉₆.

Exploitation : entre 0,8 et 4 ECU₁₉₉₆/t d'acier brut liquide .

Moteurs de la mise en œuvre : Les principaux moteurs sont les limites d'émission et autres obligations légales.

Documents de référence : [InfoMil, 1997; EUROFER BOF, 1997; EC BOF, 1995]

EP.4 Agglomération à chaud et recyclage des poussières avec récupération des pellets à haute teneur en Zn pour une réutilisation extérieure.

Description : L'épuration des gaz de convertisseur issus du soufflage à l'oxygène à l'aide d'un précipitateur électrostatique sec produit toujours des poussières solides. De par leur forte teneur en fer (40 à 65 %), ces poussières peuvent fournir une matière première de valeur si on en fait des briquettes. S'il est vrai que les poussières grosses et fines sont agglomérées dans les mêmes installations, elles sont, du fait de leurs propriétés différentes, enfournées séparément (voir Tableau 8.9). Les briquettes issues des grosses poussières contiennent environ 70 % de fer métallique et peuvent servir de produit de remplacement pour la ferraille du convertisseur à oxygène. Les briquettes issues des poussières fines, quant à elles, contiennent environ 7 % de fer métallique et peuvent servir de complément pour le refroidissement du minerai [Auth, 1988]. L'agglomération à chaud s'effectue dans l'installation d'agglomération à chaud (Figure 8.24). Dans un premier temps, les poussières sont chauffées à l'air chaud et au moyen de réactions autothermiques dans un réacteur à lit fluidisé, les températures pouvant atteindre les 750 °C. Ensuite, les briquettes sont formées dans une presse cylindrique.

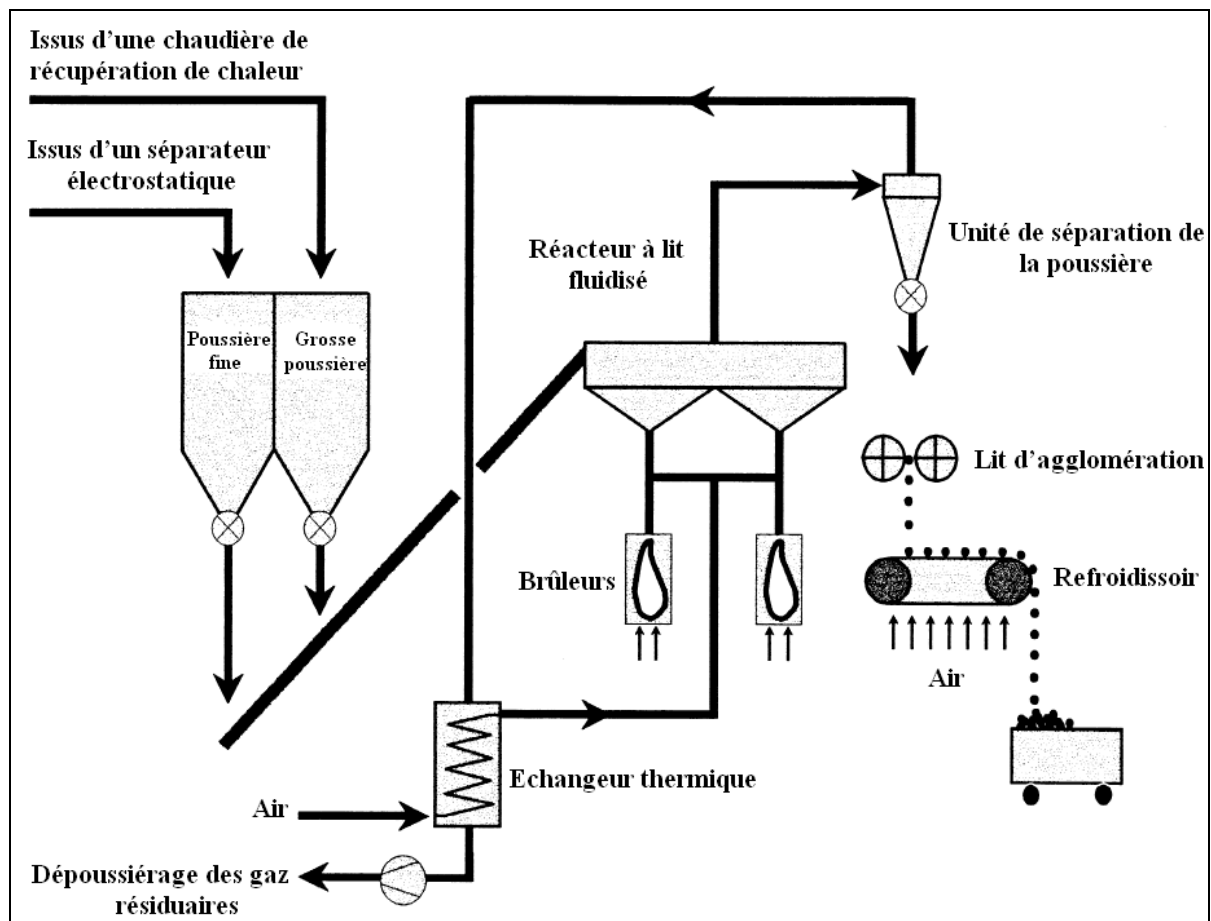


Figure 8.24 : Équipements de briquetage de la poussière d'aciéries à oxygène – [EUROFER BOF, 1997]

La teneur en Zn est progressivement enrichie grâce à des poussières de recyclage. Quand les briquettes de poussière atteignent une teneur massique moyenne en Zn d'au moins 17 %, elles sont acheminées jusqu'à l'installation extérieure de retraitement pour récupération du zinc.

Comme le zinc contenu dans la poussière du système fermé est réparti de façon très inégale, les poussières ayant des teneurs massiques en zinc nettement supérieures à 17 % sont également intégrées à ce cycle. En conséquence, de grandes quantités de zinc se retrouvent intégrées au cycle sans nécessité et sont réduites, vaporisées, oxydées et agglomérées à chaque étape.

Ce modèle en dents de scie caractérisé par des cycles successifs d'enrichissement et d'élimination des poussières entraîne une forte fluctuation de la charge de briquettes dans le convertisseur à oxygène, ce qui influence non seulement le travail métallurgique (scorification, accumulation de poussières dans la conduite des gaz de combustion) mais également l'équilibre thermique (fonte/laitier). Des contrôles réguliers sont indispensables pour s'assurer que la qualité de l'acier et du laitier produits ne sont pas altérés par une augmentation de la teneur en zinc.

Afin d'optimiser ce processus, une technique appelée LIBS (spectroscopie de décomposition induite par laser) et permettant de déterminer en continu le niveau de zinc dans la poussière a été mise au point. Un appareil mesure en permanence la teneur en zinc de la poussière du convoyeur. La connaissance de cette valeur permet de sélectionner le traitement de la poussière : élimination, pelletisation ou acheminement vers l'installation de retraitement.

La figure 8.25 montre une vue d'ensemble du cycle optimisé de traitement de la poussière dans une aciérie à l'oxygène.

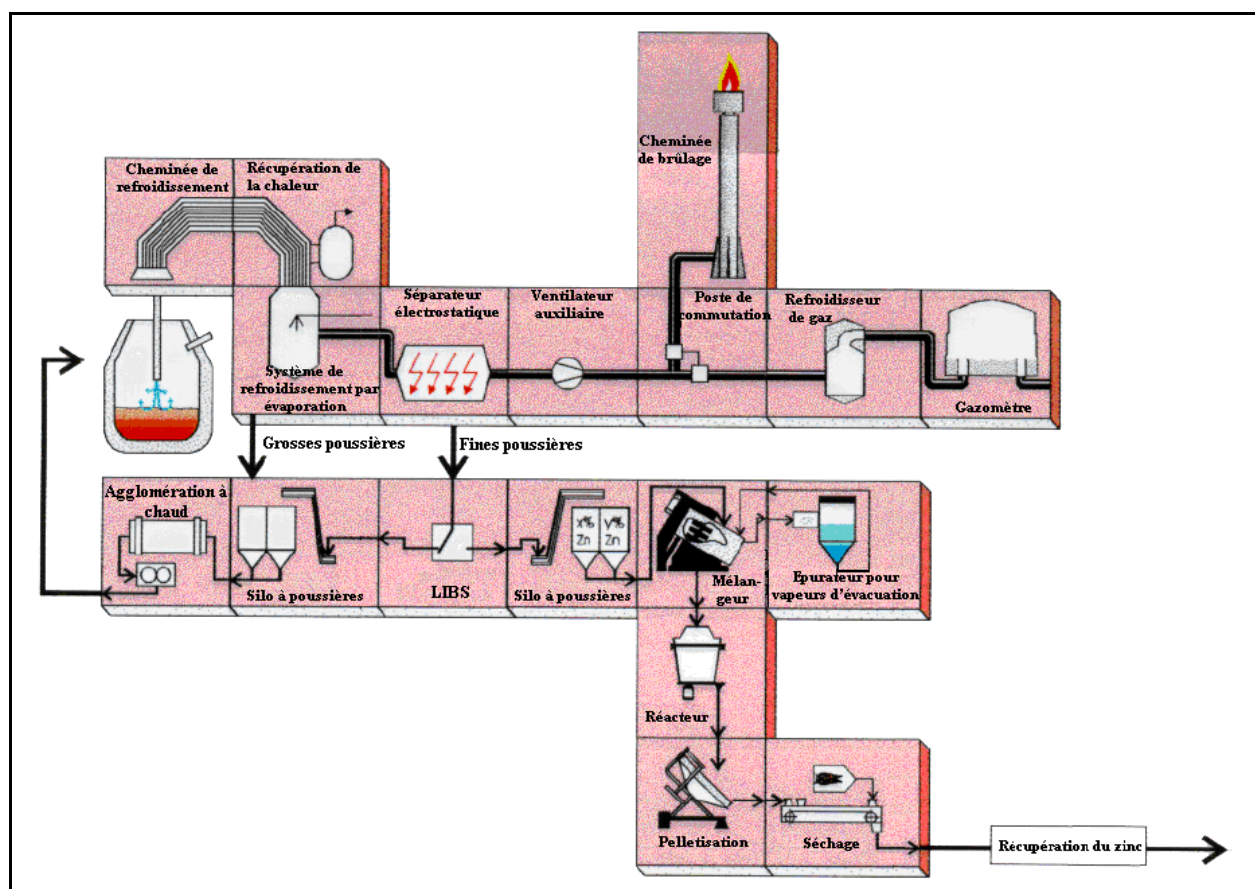


Figure 8.25 : Aperçu des mesures permettant d'optimiser le recyclage des poussières de convertisseur à oxygène [Heiss, 1997]

Il est utile de pelletiser la poussière fine car il n'est pas possible de la briqueter, même en utilisant des liants. De plus, les pellets répondent généralement mieux aux besoins des clients (possibilité d'analyse et de stockage, absence de poussière, transportabilité et facilité de manipulation) et peuvent être optimisés pour traitement ultérieur par l'ajout d'agents réducteurs ou d'autres additifs.

Principaux niveaux d'émission atteints : Permet d'éviter la mise en décharge de déchets solides et d'économiser des matières premières de valeur. La quantité de poussière traitée est d'environ 10 à 20 kg par tonne d'acier brut liquide produite. Le rendement global en acier augmente d'environ 1 %. Il est possible d'atteindre un taux de recyclage des poussières de 100 %.

Applicabilité : Cette méthode n'est applicable que quand les gaz de convertisseur à oxygène sont nettoyés par précipitation électrostatique sèche. Il pourrait être possible à l'avenir de traiter également les boues de Venturi, mais l'évaporation de l'eau nécessiterait un apport en énergie supplémentaire.

Effets croisés : S'il est vrai qu'elle a besoin d'énergie, l'installation d'agglomération à chaud permet d'économiser des matières premières.

Installations de référence :

Acierie LD 3, Voest-Alpine Stahl AG, Linz (Autriche) (cette installation pratique la récupération du zinc sous forme de pellets pour une réutilisation extérieure) ;

Acierie Kwangyang Works, POSCO Iron and Steel Company, République de Corée ;

Acierie Baoshan Iron and Steel Company, République populaire de Chine ;

Dneprovsky Metallurgical Combine (DMK), Ukraine;

Acieries LD 1, LD 2, Thyssen Krupp Stahl AG, Duisburg (Allemagne) ;

BHP, Newcastle (Australie).

Données opérationnelles : Non disponibles.

Aspects économiques : Non disponibles.

Moteurs de la mise en œuvre : Les principaux moteurs sont des possibilités limitées et des coûts élevés de mise en décharge des poussières.

Documents de référence : [Auth, 1988 ; UN-ECE, 1996 ; Rentz, 1996 ; Heiss, 1997]

EP.5 Traitement des eaux usées issues du dépolluissage par voie humide

Description : Dans la plupart des aciéries à oxygène, les laveurs sont utilisés afin de réduire les rejets dans l'atmosphère issus du débit de gaz primaire (gaz de convertisseur) (voir PI.1). Cela permet de transférer la pollution de l'air vers l'eau. Les eaux usées générées sont donc habituellement recyclées avant d'être évacuées. L'eau issue des laveurs contient essentiellement des matières en suspension, le zinc et le plomb étant les principaux métaux lourds présents.

Une part importante des matières en suspension contenues dans le circuit des eaux de lavage peut être éliminée par hydrocyclonage et/ou par précipitation. Après correction du pH, la plus grande partie de l'eau peut être recyclée (voir également 8.2.2.3.1).

La purge peut être traitée par précipitation et/ou par filtrage avant d'être évacuée.

Principaux niveaux d'émission atteints : Le tableau 8.13 donne des exemples des rejets dans l'eau par les systèmes de dépolluissage par voie humide des aciéries à oxygène.

Paramètre		Systèmes sans combustion			Systèmes à combustion libre
		Hoogovens Aciérie à l'oxygène n°2*	Stelco LEW, Canada	LTV acier Cleveland Works, Etats- Unis	Hoogovens Aciérie à l'oxygène n°1*
Débit d'évacuation	m ³ /t LS	0,52	1,1	0,002	0,65
Matières en suspension	g/t LS	20	5,5	0,0083	9,4
Zinc (Zn)	mg/t LS	73	210	0,36	252
Plomb (Pb)	mg/t LS	31	110	0,057	<74

*valeurs des émissions de Hoogovens de 1994

Tableau 8.13 : Exemples de rejets dans l'eau par les systèmes de dépolluissage par voie humide des aciéries à oxygène

Les mesures les plus efficaces pour minimiser l'évacuation des eaux usées sont :

Augmenter le taux de recirculation des eaux de lavage ;

Une recirculation importante peut être obtenue par une décantation en deux étapes dans le flux des eaux de lavage, avec une injection d'oxyde de carbone (CO₂) avant la deuxième étape de décantation, de manière à améliorer la précipitation des carbonates. Il convient de noter que l'injection de CO₂ n'est possible que dans les systèmes sans combustion.

Traitement de la purge ;

Bien qu'une recirculation efficace soit possible, une purge est nécessaire afin d'éviter l'accumulation de certains minéraux/sels. La purge contient des matières en suspension (y compris du zinc, du plomb etc.) qui constituent les polluants les plus importants. La purge est traitée par décantation et filtration.

Applicabilité : Une efficacité de recirculation élevée et un traitement supplémentaire peuvent être mis en œuvre dans les nouvelles comme dans les anciennes installations.

Effets croisés : Des boues sont générées pendant l'hydrocyclonage et/ou pendant la décantation des matières en suspension dans le circuit des eaux de lavage. Ces boues peuvent être recyclées intégralement pendant le processus de fabrication du fer et de l'acier. Toutefois, cela n'est possible que si l'apport en zinc dû à la ferraille est strictement limité. Dans de nombreuses autres aciéries dans le monde, les boues générées ne peuvent pas être utilisées et sont stockées ou éliminées (voir également PI. 2 et EP.4)

Installations de référence : Haut degré de recirculation et de traitement de la purge : Sidmar, Gent (Belgique) ; Thyssen AG, Duisburg (Allemagne) ; LTV Steel Cleveland Works (États-Unis).

Données opérationnelles et aspects économiques : Non disponibles.

Documents de référence : [Theobald, 1997 ; InfoMil, 1997]

EP.6 Traitement des eaux usées issues de la coulée continue

Description : L'eau est utilisée dans les machines de coulée continue pour le refroidissement direct des brames, des blooms et des billettes. C'est pourquoi un débit d'eau contaminée est généré. Dans de nombreux cas, ces eaux usées sont traitées avec les flux d'eaux usées issues des laminoirs. Après le traitement, l'eau est recirculée.

Le moule de coulée et l'intérieur des rouleaux sont habituellement refroidis avec de l'eau en circuit fermé ; il n'en est donc pas tenu compte ici.

Les principaux polluants sont les matières en suspension et le mazout. Les principales mesures destinées à réduire les déversements dans l'eau sont un taux élevé de recirculation accompagné de la décantation et/ou de la filtration de la purge. Des cuves d'écumage peuvent être utilisées afin d'éliminer le mazout.

Principaux niveaux d'émission atteints : Le tableau 8.14 donne des exemples de rejets dans l'eau issus de la coulée continue.

Paramètre		Hoogovens Machine à coulée continue OSF 1	Hoogovens Machine à coulée continue OSF 2*	Stelco Lake Erie Works, Ontario, Canada	Inland Steel, Indiana Harbour Works, IN, Etats-Unis
Débit d'évacuation	[m ³ /t coulée acier]	0,08	0,04	1,4	0,076
Taux de recirculation	[%]	?	98	78	99
Matières en suspension	[g/t coulée acier]	0,8 - 10,7	0,11	26	1,4
Zinc (Zn)	[g/t coulée acier]	-	2,0	-	8,0
Plomb (Pb)	[g/t coulée acier]	-	5,7	-	8,7
Mazout	[g/t coulée acier]	30 - 365	41	2000	160

Tableau 8.14 : Aperçu des rejets dans l'eau des systèmes de refroidissement direct pour la coulée continue [InfoMil, 1997]

Applicabilité : Un taux de recirculation élevé et un traitement de la purge peuvent être mis en œuvre dans les nouvelles comme dans les anciennes installations.

Effets croisés : Les étapes de la décantation génèrent une boue contenant du fer pouvant être recyclée dans l'installation d'agglomération.

Installations de référence :

Inland Steel, Indiana Harbour Works, Indiana, (États-Unis),

Hoogovens IJmuiden, IJmuiden (Pays-Bas),

Sidmar, Gand (Belgique).

Données opérationnelles et aspects économiques : Non disponibles

Documents de référence : [InfoMil, 1997]

8.4 Conclusions

Pour mieux comprendre l'objet et le contenu de cette section, le lecteur prêter une attention particulière à la préface du présent document, notamment à la cinquième section de la préface, intitulée « Compréhension et utilisation du présent document ». Les techniques et niveaux (ou plages de niveaux) d'émissions et/ou de consommations correspondants présentés dans cette section ont été évalués selon une démarche itérative comprenant les étapes suivantes :

- identification des principaux aspects environnementaux propres au secteur, à savoir, dans le contexte de la sidérurgie à l'oxygène et la coulée : le captage et le traitement des fumées, la récupération et le traitement des gaz de convertisseur à oxygène et le zinc dans les poussières recueillies ;
- analyse des techniques les plus à même de traiter ces aspects-clés ;
- identification des niveaux de performances les plus adaptés en s'appuyant sur les données disponibles dans l'Union européenne et dans le reste du monde ;
- étude des conditions dans lesquelles ces niveaux de performances ont été atteints (coûts, effets croisés, principaux enjeux à l'origine de la mise en œuvre de ces techniques) ;
- choix des meilleures techniques disponibles (MTD) et des niveaux d'émissions et/ou de consommations correspondants pour ce secteur, au sens large de l'Article 2(11) et de l'Annexe IV de la Directive.

Le jugement expert du Bureau européen de l'IPPC et du Groupe de travail technique (GTT) formé pour traiter ces questions a joué un rôle essentiel lors de chacune de ces étapes et a déterminé la façon dont les informations sont ici présentées.

D'après cette évaluation, ce chapitre présente les techniques et, dans la mesure du possible, les niveaux d'émissions et de consommations associés à la mise en application des MTD ; celles-ci sont considérées comme adaptées au secteur dans son ensemble et reflètent souvent les performances actuelles de certaines installations du secteur. Lorsque les niveaux d'émissions et de consommations « associés aux meilleures techniques disponibles » sont présentés, cela signifie que ces niveaux représentent les performances environnementales auxquelles on peut s'attendre suite à l'application, dans ce secteur, des techniques décrites, sans perdre de vue l'équilibre coûts/bénéfices inhérent à la définition des MTD. Ces niveaux ne constituent en aucun cas des valeurs-limites d'émissions ni de consommations ; ils ne doivent donc pas être interprétés comme tels. Dans certains cas, il peut être techniquement possible de parvenir à de meilleurs niveaux d'émissions et de consommations mais, du fait des coûts ou des effets croisés qu'elles induisent, les techniques alors appliquées ne sont pas considérées comme MTD pour le secteur dans son ensemble. Ces niveaux peuvent toutefois trouver leur justification dans certains cas spécifiques caractérisés par des enjeux particuliers.

Les niveaux d'émissions et de consommations associés à l'utilisation des MTD doivent être considérés parallèlement à d'éventuelles conditions de référence spécifiées (périodes prises en compte pour établir les moyennes, par ex.).

Le concept de « niveaux associés aux MTD » décrit ci-dessus doit être distingué du terme « niveau réalisable » utilisé dans une autre section du présent document. Lorsqu'un niveau est dit « réalisable » au moyen d'une technique ou d'une combinaison de techniques particulière, cela signifie que l'on peut

s'attendre à ce que ce niveau soit atteint à long terme dans une installation entretenue et exploitée de façon adéquate ou par un procédé reposant sur ces techniques.

Lorsqu'elles sont disponibles, les données relatives aux coûts sont présentées avec la description des techniques abordées dans la section précédente. Ces données fournissent une estimation de l'ampleur des coûts induits. Toutefois le coût réel de mise en œuvre d'une technique dépend largement de la situation spécifique, notamment de la fiscalité, des tarifs et des caractéristiques techniques de l'installation concernée. Le présent document n'est pas en mesure d'évaluer pleinement ce type de facteurs spécifiques au site. En l'absence de données concernant les coûts, les observations effectuées sur les installations existantes permettent de formuler des conclusions sur la viabilité économique des différentes techniques.

Les MTD générales sont censées constituer un point de référence permettant d'apprécier les performances actuelles d'une installation existante ou d'évaluer un projet concernant une installation nouvelle. Elles faciliteront ainsi la détermination des conditions de fonctionnement « incluant les MTD » adéquates pour l'installation ou la définition de règles générales de nature contraignante conformément à l'Article 9(8). On pense que les installations nouvelles peuvent être conçues de façon à atteindre, voire dépasser, les performances associées aux MTD en termes de niveaux d'émissions et de consommations. On considère également que les installations existantes peuvent évoluer vers les niveaux associés aux MTD générales, voire plus loin, dès lors que ces techniques sont applicables, dans chaque cas, sur les plans technique et économique.

Bien que les BREF n'aient pas pour fonction de définir des normes contraignantes, ils sont censés fournir des informations aux industriels, aux États membres et au public concernant les niveaux d'émissions et de consommations réalisables à l'aide des techniques spécifiées. Les valeurs-limites adaptées aux cas spécifiques devront être déterminées selon les objectifs de la Directive IPPC et les aspects locaux.

Dans le cas du prétraitement de la fonte, de la sidérurgie à l'oxygène et de la coulée continue, les techniques ou combinaisons de techniques suivantes sont considérées comme MTD. L'ordre des priorités et le choix des techniques varieront en fonction des circonstances particulières. Tout autre technique ou combinaison de techniques permettant d'atteindre ou de dépasser ce niveau de performance ou d'efficacité est également à envisager ; il est possible que de telles techniques soient en cours de développement ou émergentes ou qu'elles soient déjà disponibles mais ne soient pas mentionnées ou décrites dans ce document.

1. Réduction des particules provenant du prétraitement de la fonte (y compris les opérations de transfert du métal en fusion, la désulfuration et le décrassage de la fonte) par :

- évacuation efficace,
- purification consécutive via la filtration sur tissu ou la précipitation électrostatique.

L'emploi de filtres à manche et de la précipitation électrostatique permet d'atteindre respectivement des concentrations d'émissions de 5 à 15 mg/Nm³ et de 20 à 30 mg/Nm³.

2. Récupération et dépoussiérage primaire des fumées des convertisseurs à l'oxygène par :

- combustion supprimée *et*
- précipitation électrostatique à sec (dans les situations nouvelles et existantes) *ou*
- lavage (dans les situations existantes).

Les fumées des convertisseurs à oxygène recueillies sont nettoyées puis stockées en vue de servir ultérieurement de combustible. Dans certains cas, il se peut que la récupération des fumées des convertisseurs à oxygène ne soit pas rentable ou pas possible en termes de gestion adéquate de l'énergie. Les fumées des convertisseurs à oxygène peuvent alors être brûlées pour produire de la vapeur. Le type de combustion (complète ou supprimée) dépend de la gestion locale de l'énergie.

Les poussières et/ou boues recueillies doivent être recyclées autant que possible. Elles présentent habituellement une forte teneur en zinc. Il convient d'accorder une attention particulière aux émissions de particules à partir de l'orifice de la lance. Ce dernier doit être couvert pendant le soufflage à l'oxygène et, si nécessaire, des gaz inertes doivent y être injectés pour évacuer ces particules.

3. Dépoussiérage secondaire, par :

- évacuation efficace pendant l'enfournement et la coulée, suivie d'une purification par filtration sur tissu ou par précipitation électrostatique, ou encore par toute autre technique offrant une efficacité de dépoussiérage comparable, une efficacité de captage de près de 90 % est atteignable, des teneurs en poussières de 5 à 15 mg/Nm³ dans le cas des filtres à manche et de 20 à 30 mg/Nm³ dans celui de la précipitation électrostatique peuvent être atteintes. Les poussières présentent habituellement une forte teneur en zinc.
- évacuation efficace pendant la manipulation de la fonte (opérations de transvasement des poches), décrassage de la fonte et traitements métallurgiques secondaires avec purification consécutive par filtration sur tissu ou toute autre technique offrant une efficacité de dépoussiérage comparable. Pour ces opérations, des facteurs d'émission inférieurs à 5 g/t d'acier brut liquide peuvent être obtenus. Suppression des fumées au moyen de gaz inertes pendant le transvasement de la fonte liquide de la poche tonneau (ou de la poche mélangeuse) vers la poche de chargement, afin de réduire au minimum la production de fumées et de poussières.

4. Minimisation/réduction des rejets dans l'eau issus du dépoussiérage primaire par voie humide des gaz de convertisseurs à oxygène, par des mesures telles que :

- l'épuration des fumées de convertisseurs à sec, applicable lorsque l'espace disponible est suffisant,
- le recyclage des eaux de lavage, autant que possible (par exemple, par injection de CO₂ dans le cas de systèmes sans combustion),
- la floculation et la sédimentation des matières en suspension ; une concentration de 20 mg/l de matières en suspension peut être obtenue.

5. Réduction des rejets dans l'eau de refroidissement direct au niveau des machines de coulée continue, par :

- recyclage, autant que possible, des eaux industrielles et de refroidissement,
- floculation et sédimentation des matières en suspension,
- élimination du mazout dans des bassins d'écumage ou tout autre dispositif de même efficacité,

6. Réduction au minimum des déchets solides

Dans le cas de la production des déchets solides, les techniques suivantes sont considérées comme MTD, par ordre de priorité décroissant :

- réduction au minimum de la production de déchets,
- utilisation efficace (recyclage ou réutilisation) des déchets ou des sous-produits solides ; en particulier, recyclage du laitier de convertisseur et des poussières (grosses et fines) résultant du traitement des fumées de convertisseur,
- élimination contrôlée des déchets inévitables.

En principe, compte tenu de la préface, en l'absence d'indications contraires et quand les conditions préalables sont remplies, les techniques mentionnées aux points 1 à 6 sont applicables aussi bien aux nouvelles installations qu'aux installations déjà existantes.

8.5 Techniques émergentes et développements futurs

Les techniques suivantes ont été identifiées comme techniques émergentes :

- coulée près des dimensions finales et coulée continue horizontale,
- traitement de boues/poussières riches en Zn,
- utilisation de nouveaux réactifs pour la désulfuration,
- application de techniques de moussage au prétraitement de la fonte brute et à l'affinage de l'acier ;
- remplacement de l'air situé au dessus de la fonte par des gaz inertes (CO_2 , N_2).

Coulée près des dimensions finales et coulée continue horizontale

Description : Les techniques de coulée continue sont en perpétuelle évolution. La coulée près des dimensions finales et la coulée continue horizontale sont des techniques intéressantes en termes de retombées commerciales. Elles sont en effet en mesure de se s'intégrer directement aux processus de laminage à chaud en aval, ce qui leur confère un avantage sur la coulée continue conventionnelle des brames et des billettes en acier.

Statut : Fait déjà l'objet d'une application commerciale dans plusieurs installations dans le monde entier. A l'avenir, on devrait se référer à cette méthode comme à une technique disponible.

Principales réussites : Ces formes modernes de coulée continue nécessiteront un investissement moindre, auront recours à des procédés de fabrication plus simples et entraîneront des économies d'énergie et de force de travail. Il est également à noter que la coulée continue horizontale ne nécessite pas des bâtiments aussi hauts que la coulée continue conventionnelle.

Documents de référence : [UBA Comments, 1997]

Traitement de boues/poussières riches en Zn

Description : L'épuration des gaz de convertisseur à oxygène et de haut fourneau produit des boues et poussières riches en zinc. Leur teneur en ce métal n'est toutefois pas assez élevée pour que leur réutilisation soit commercialement viable. Puisque seule une partie de ces boues et poussières peut être recyclée, presque toutes les aciéries possèdent un dépôt de boues et déchets riches en zinc. L'agglomération à chaud et la pelletisation au moyen de matériaux à forte teneur en zinc pour réutilisation à l'extérieur sont décrites en EP.4. Il est techniquement possible d'extraire les métaux non ferreux de ces boues et poussières afin de recycler les solides ferreux « propres » de valeur dans le processus de fabrication de l'acier. Les métaux non ferreux extraits peuvent ensuite être traités par l'industrie des métaux non ferreux. Du fait du coût important du traitement des boues et poussières, aucune de ces méthodes n'a encore pu trouver d'application commerciale.

Les méthodes suivantes peuvent être utilisées (à différents stades du développement) :

- four à sole rotative (Inmetco) ;
- lit fluidisé (Thyssen),
- réacteur à lit fluidisé circulant,
- mélangeur à haute turbulence,
- plasma (Siromelt, Plamelt),
- cubilot à oxygène polyvalent,

Statut : Les processus destinés aux boues et aux poussières riches en zinc sont déjà commercialisés.

Documents de référence : [Köller, 1995 ; UN-ECE, 1996 ; Rentz, 1996 ; EUROFER BOF, 1997]

Nouveaux réactifs pour la désulfuration

Description : L'utilisation de nouveaux réactifs pour la désulfuration peut entraîner une diminution des émissions de particules et une composition différente (plus avantageuse) des poussières générées.

Statut : En cours de développement.

Documents de référence : [EC BOF, 1995]

Application de techniques de moussage au prétraitement de la fonte brute et à l'affinage de l'acier

Description : Pour le prétraitement de la fonte brute, on préfère les techniques de moussage parce que la mousse absorbe les particules issues du traitement de la fonte.

Statut : Plusieurs techniques de moussage sont déjà disponibles.

Documents de référence : [EC BOF, 1995]

Remplacement de l'air situé au dessus de la fonte par des gaz inertes (CO₂, N₂).

Description : La réduction de la concentration en O₂ au-dessus de la fonte pendant le prétraitement de la fonte brute diminue la production d'oxydes et par conséquent celle de particules. L'O₂ peut être dissipé au moyen de gaz inertes (CO₂ ou N₂ par exemple).

Statut : Des essais ont été réalisés à l'échelle industrielle avec du CO₂ comme gaz inerte pendant la coulée de la fonte brute depuis la poche tonneau jusqu'à la poche d'acier (Luxembourg) et durant l'enfournement de la fonte brute dans le convertisseur à oxygène (France). En Allemagne, des essais ont été réalisés avec du N₂ comme gaz inerte.

Effets croisés : L'utilisation de N_2 peut entraîner des émissions de NO_x .

Documents de référence : [EC BOF, 1995]

9 ACIERIE ELECTRIQUE ET COULEE DE L'ACIER

9.1 Procédés et techniques appliqués

La fusion directe de matériaux contenant du fer, comme la ferraille, est généralement conduite dans des fours à arc électrique qui jouent un rôle de plus en plus important dans la conception moderne du travail de l'acier. Aujourd'hui le pourcentage d'acier provenant d'aciérie électrique est de 35,3 % de la production totale d'acier en Europe.

La principale matière première des aciéries électriques est la ferraille ferreuse, qui peut comprendre la ferraille provenant de l'aciérie elle-même, de chutes issues des industries de fabrication de produits en acier (constructeurs automobiles) et de ferraille provenant de produits en fin de vie (après utilisation par le consommateur). Le fer directement réduit est aussi de plus en plus utilisé comme matière première à cause de sa faible teneur en gangue et des prix variables de la ferraille. Comme dans le four à oxygène des aciéries intégrées, le laitier est formé à partir de chaux (CaO) pour capter les composés indésirables dans l'acier.

La figure 9.1 présente une aciérie électrique. Le bâtiment contenant le four à arc électrique est totalement fermé dans le but de réduire les émissions de gaz et de poussières ainsi que le bruit.

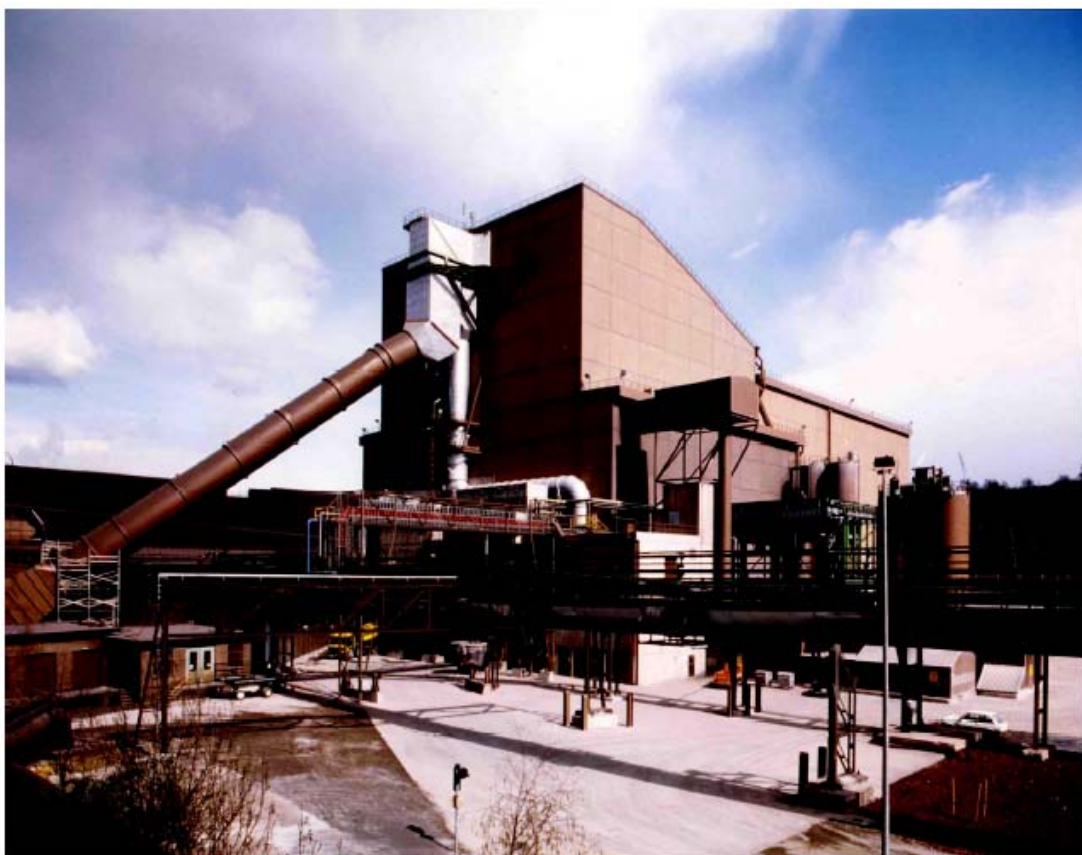


Figure 9.1. : Aciérie électrique

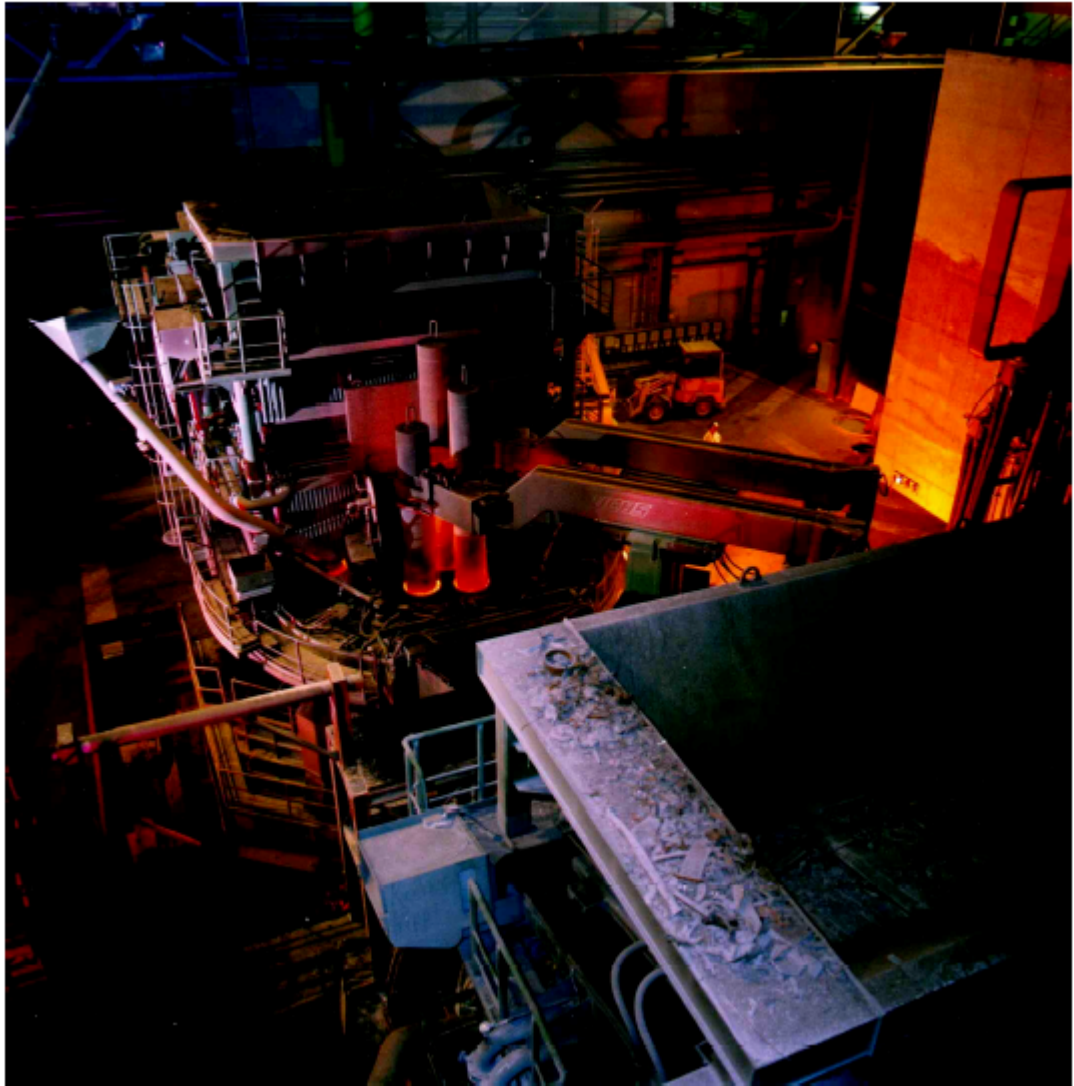


Figure 9.2 : Four à arc électrique avec 3 électrodes et une cuve pour le préchauffage de la ferraille

La figure 9.3 présente une vue d'ensemble du procédé de fabrication de l'acier en aciérie électrique.

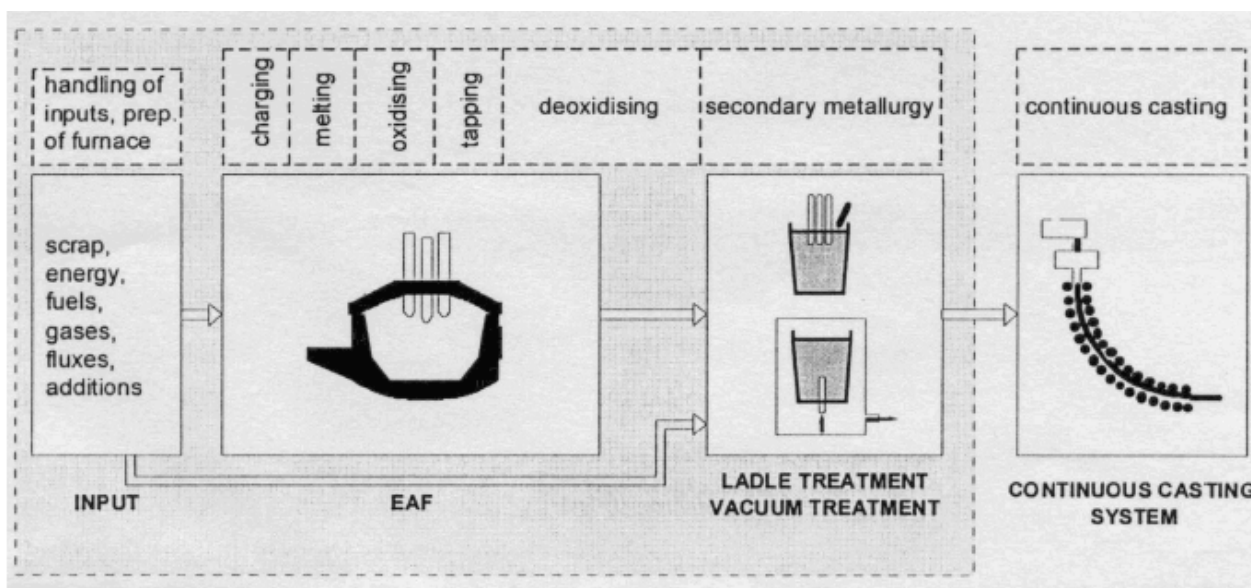


Figure 9.3 : Vue d'ensemble des procédés liés à la production d'acier en aciérie électrique

En fonction du produit fini, il faut distinguer la production d'aciers ordinaires appelés également acier au carbone ainsi que les aciers faiblement alliés, des aciers hautement alliés et inoxydables. En Europe, 85 % de la production est de l'acier carbone ou acier faiblement allié.

Pour la production d'aciers au carbone ou faiblement alliés, les étapes suivantes sont mises en œuvre :

- manutention et stockage de matière première
- Chargement du four, avec ou sans préchauffage de la ferraille
- Fabrication de l'acier dans le four à arc électrique
- Coulée de l'acier et du laitier
- Traitements en poche d'affinage pour l'ajustement de la qualité
- Manipulation du laitier
- Coulée continue

Pour les aciers spéciaux et hautement alliés, la séquence d'opérations est plus compliquée, et sur mesure pour les produits finis. En plus des étapes mentionnées ci-dessus pour les aciers ordinaires, divers traitements en poche (métallurgie secondaire) peuvent être menés :

- Désulphuration
- Dégazage pour l'élimination et la dissolution des gaz comme l'azote et l'hydrogène

- Décarburation

9.1.1 Manutention et stockage des matières premières

Les aires de stockage sont habituellement à l'extérieur, dans des « parcs à ferraille » non couverts à même la terre, ce qui peut entraîner une pollution des sols, mais certaines aciéries ont toutefois des parcs couverts avec un revêtement au sol. En fonction des conditions météorologiques, des composés volatils organiques et inorganiques peuvent être émis.

Le contrôle de radioactivité de la ferraille en entrée est également un sujet important mais cette question n'est pas traitée par le présent document.

Un tri de la ferraille est effectué afin de réduire le risque d'inclusion de contaminants dangereux. La ferraille générée par l'aciérie elle-même peut être découpée par oxycoupage à une taille qui facilite sa manutention avant d'être remise dans le parc à ferraille. La ferraille peut être chargée dans des paniers dans le parc à ferraille ou être transférée dans des compartiments à ferraille temporaires situés à l'intérieur de l'atelier de fusion. Dans certains cas, la ferraille est préchauffée dans une cuve ou un convoyeur.

D'autres matières premières incluant les produits solides et en poudres, carbone et chaux en poudre, additifs pour les alliages, désoxydants et matériaux réfractaires sont normalement stockés dans des espaces couverts. Après la livraison, la manipulation est réduite au minimum et si nécessaire un équipement d'extraction de poussières est utilisé. Les matériaux en poudre peuvent être stockés en silos scellés (la chaux doit être conservée au sec), et transportés au moyen de systèmes pneumatiques ou conservés et manipulés dans des sacs scellés.

9.1.2 Préchauffage de la ferraille

Dans les dernières années passées, de plus en plus d'aciéries, nouvelles comme anciennes, ont été équipées d'un système de préchauffage des ferrailles par les gaz de sortie afin de récupérer de l'énergie. Aujourd'hui le principe ainsi nommé de la cuve et le procédé « Consteel » sont les deux systèmes qui ont été mis en pratique avec succès.

Le principe de la cuve a été développé par étapes. Avec le four à cuve unique, environ la moitié de la ferraille chargée peut être préchauffée, alors qu'avec le four à cuve à doigt, qui signifie que la cuve a un système pour retenir la ferraille, 100 % de la ferraille peut être préchauffée. Le premier panier est préchauffé pendant le cycle précédent de fusion et le second pendant la fusion du premier panier. Une autre évolution est le four à double cuve qui comprend deux fours à cuve identiques positionnés l'un à côté de l'autre et un seul jeu d'électrodes. La ferraille est alors préchauffée par les gaz émis et partiellement par les brûleurs latéraux des parois.

A la date d'octobre 1998 plus de 20 fours à cuve sont opérationnels dans le monde, 8 en Europe.

Le préchauffage de la ferraille peut engendrer des émissions plus élevées de PCDD/F, chlorobenzène, polychloros-biphényles (PCB), HAP et autres produits issus de la combustion partielle de la ferraille qui est contaminée avec des peintures, plastiques, lubrifiants, et autres composés organiques. Cette formation peut être minimisée par une post-combustion à l'intérieur du four par des brûleurs à oxygène additionnels. Mais il ne faut pas confondre cette post-combustion avec celle intervenant après le four à arc électrique dans le but de réduire les composés organiques tels que les PCDD/F ; cette post-combustion-là demandant beaucoup plus d'énergie.

9.1.3 Chargement du four

La ferraille est habituellement chargée dans des paniers avec de la chaux qui est utilisée pour la formation du laitier. Des morceaux de charbon sont également chargés dans certaines installations avec comme conséquence des émissions de benzène (tout comme du toluène et des xylènes). Les électrodes du four sont mises en position haute, le toit est enlevé du four pour le chargement. Le four est initialement chargé à 50-60 % de ferraille par un premier panier. Le toit est ensuite fermé et les électrodes baissées dans la ferraille. Dans les 20-30 minutes un arc électrique est formé. Après la fusion de la première charge, le reste de la ferraille provenant d'un deuxième ou d'un troisième panier est ajouté.

Il existe également un système de marque déposée, le four à cuve, qui permet à une partie de la ferraille d'être préchauffée en la chargeant dans une cuve verticale intégrée au couvercle du four.

D'autres nouveaux systèmes de chargement ont été développés. Dans le « Consteel Process », la ferraille est continuellement approvisionnée par un système de convoyage horizontal à l'intérieur du four à arc électrique. Mais ce système n'est généralement pas considéré comme une technique qui a fait ses preuves.

9.1.4 Fusion et affinage dans le four à arc

Au début de la fusion, la puissance appliquée n'est pas élevée afin de prévenir les dommages (provenant des radiations) aux parois et au toit du four, tandis que les électrodes perforent la ferraille. Une fois que les électrodes ont été protégées par la ferraille présente tout autour, la puissance peut être augmentée pour achever l'opération de fusion. Des lances à oxygène et/ou des brûleurs sont de plus en plus utilisés pour favoriser les premières étapes de la fusion. Les combustibles utilisés sont le gaz naturel et l'huile. De plus, de l'oxygène peut être amené jusqu'à l'acier liquide par des becs spécifiques dans le fond ou le côté des parois du four à arc.

L'oxygène pour des raisons métallurgiques est de plus en plus utilisé depuis les 30 dernières années pour la décarburation de la fonte et la suppression d'éléments indésirables comme le phosphore, le manganèse, le silicium, le soufre, mais également afin d'améliorer la productivité. De plus, il réagit avec les hydrocarbures, formant des réactions exothermiques. L'injection d'oxygène produit une forte augmentation de la génération des gaz et des émanations provenant du four. CO, CO₂, particules extrêmement fines d'oxydes de fer et d'autres produits sous forme de vapeur sont formés. Dans le cas d'une post-combustion, le CO contenu est au-dessous de 0.5 % en volume.

L'argon ou d'autres gaz inertes peuvent être injectés lors de la fusion pour permettre l'agitation au bain et l'équilibre de température. L'équilibre laitier-métal est également amélioré par cette technique.

9.1.5 La coulée de l'acier et du laitier

Dans les installations sans équipement de métallurgie secondaire, les éléments d'alliage et autres additifs sont souvent mis dans l'acier avant ou pendant la coulée. De tels ajouts peuvent sensiblement augmenter les émissions formées durant cette coulée. Le laitier peut avoir besoin d'être retiré pendant le chauffage et l'oxydation à la fin du premier chauffage avant la coulée. Le four est incliné vers l'arrière, vers la porte, et le laitier coule ou est raclé dans un pot ou sur le sol au-dessous du four, d'où la génération de poussières et de fumées.

Aujourd'hui, l'acier est normalement vidangé à travers un système de coulée en fond de cuve avec un minimum de laitier manipulé au dessus de la poche d'affinage.

9.1.6 Métallurgie secondaire

La métallurgie secondaire qui est réalisée dans des poches d'affinage comprend les procédés et le traitement de l'acier fondu depuis la coulée de la phase initiale de fabrication d'acier dans le four jusqu'à la coulée continue. Elle est typiquement menée dans des stations de traitement en poches. Ces stations, dans les installations de production d'acier en vrac (ou en masse), reposent généralement sur des système de production sous vide ou de fusion à arc.

D'autres installations, plus marginales sont basées sur un équipement d'injection de gaz inertes ou de poudre. Ces procédés sont décrits schématiquement sur la figure 9.4.

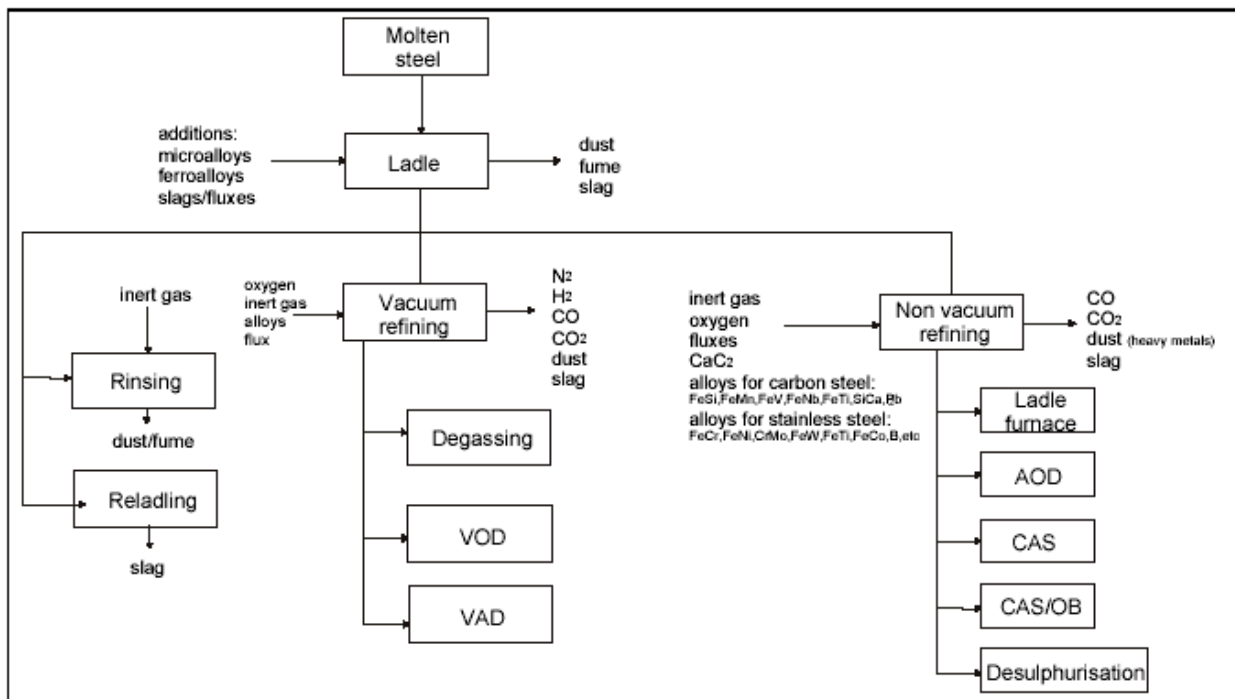


Figure 9.4 : Métallurgie secondaire/traitements en poche

Dans le cas de la production d'acier au plomb, les gaz de sortie contenant du plomb doivent subir un traitement spécial (voir info dans métallurgie secondaire dans un four basic à oxygène –8.1.4 et 8.2.2.1.1.3)

9.1.7 Manipulation du laitier

En plus de la coulée du laitier d'autres poussières et émanations sont formées pendant la récupération du laitier qui peut encore être chaud. A l'extérieur de l'enceinte du four, le laitier peut être refroidi par pulvérisation d'eau avant qu'il ne soit écrasé et criblé pour permettre la récupération du métal. Dans le cas de laitiers avec de la chaux libre, des vapeurs alcalines peuvent être émises. La découpe du laitier (ou parfois son oxycoupage) et la récupération du métal peuvent générer des émissions de poussières.

9.1.8 Coulée continue

L'acier liquide est généralement coulé en continu. La coulée en lingots est encore appliquée pour certaines catégories d'acier et applications. La coulée continue est un procédé qui permet la coulée, à partir d'une seule ou d'une séquence de poches d'acier liquide, de l'acier en continu sous forme de billettes, blooms, lingots, brames, barres ou feuilles (voir 8.1.5.1). L'acier est vidangé de la poche d'affinage vers un distributeur à partir duquel il est dirigé à un flux contrôlé dans des lingotières en cuivre, aux dimensions appropriées, refroidies par de l'eau.

Pour éviter que la coquille solidifiée ne colle, le moule est soumis à une oscillation dans la direction de la coulée à une vitesse plus grande que celle de la coulée et un lubrifiant pour moule est ajouté sous forme de poudre ou d'huile végétale. La production est extraite en continu et est de plus refroidie par des pulvérisateurs d'eau. Lorsque la solidification est terminée, elle est coupée aux longueurs requises par découpe automatique au chalumeau. Dans le cas de l'oxycoupage ou de la découpe hydraulique de l'acier inoxydable, il y a injection de poudre de fer.

9.2 Consommation actuelle et niveaux d'émission

9.2.1 Vue d'ensemble des flux entrants et sortants

La figure 9.5 fournit une vue d'ensemble des entrées et des sorties des fours à arc électrique. Cette vue d'ensemble peut être utilisée pour la collecte de données d'une aciérie électrique.

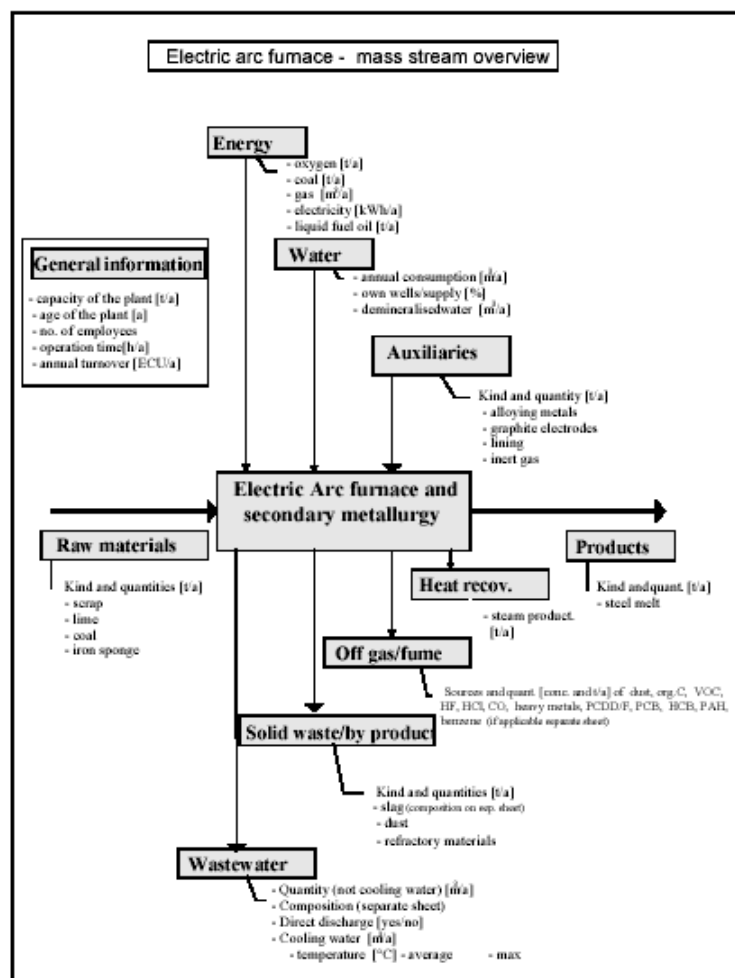


Figure 9.5 : Vue d'ensemble des flux d'entrée et de sortie des fours à arc électrique

Ensuite, des facteurs d'entrée spécifiques comme les facteurs d'émission peuvent être calculés. De tels facteurs sont présentés au tableau 9.1. Les données proviennent de diverses sources mentionnées en note de bas de page.

ENTREES			SORTIES		
			Produits	kg	
Matières premières			Acier liquide		1000
Ferraille	kg/t	1080-1130	Emissions		
Chaux	kg/t	30-80	Poussières	g/t	1-780
Charbon	kg/t	13-45	Hg	mg/t	6-4470

Electrodes en graphite	kg/t	1.5-4.5	Pb	mg/t	16-3600
Garnissage du four	kg/t	1.9-25.1 (moy 8.1)	Cr	mg/t	8-2500
Métal liquide chaud ¹	kg/t		Ni	mg/t	1-1400
Réduction directe du fer ²	kg/t		Zn	mg/t	280-45600
Fonte ²	kg/t		Cd	mg/t	<1-72
			Cu	mg/t	<1-460
			HF	mg/t	<700-4000
Energie			HCl	mg/t	800-9600
Energie totale	MJ/t	2300-2700	SO ₂	mg/t	24-130
Électricité	MJ/t	1250-1800	NO _x	mg/t	120-240
Oxygène	m ³ /t	24-47	CO	mg/t	740-3900
			TOC	gC/t	16-130
Eau		Cycle de refroidissement fermé	Benzène	mg/t	170-4400
			Chlorobenzènes	mg/t	3-37
			HAP	mg/t	3.5-71
			PCB	mg/t	1.5-45
			PCDD/F	µg I-TEQ/t	0.07-9
			Déchets solides/sous-produits		
			Laitiers du four	kg/t	100-150
			Laitiers de la poche	kg/t	10-30
			Poussières	kg/t	10-20
			Briques réfractaires	kg/t	2-8
			Bruit	dB (A)	90-125

¹ La fonte liquide est seulement utilisé dans des cas très spéciaux (environ 275 kg/t d'acier liquide), alors la quantité de ferraille est plus faible

² la réduction directe du fer et la fonte sont seulement utilisés dans des cas spéciaux

9.2.2 Informations sur les différents flux d'émission, le bruit et la consommation d'énergie

9.2.2.1 Emissions atmosphériques.

9.2.2.1.1 Emissions du circuit primaire

9.2.2.1.1.1 Emissions directement dans le four à arc électrique

Les émissions atmosphériques du circuit primaire représentent approximativement 95% des émissions totales du four d'une aciérie électrique. La plupart des installations existantes captent les gaz par le 4^{ème} trou (dans le cas d'un procédé avec 3 électrodes) ou par le 2^{ème} trou (dans le cas d'un procédé à 2 électrodes). Ainsi 85 à 90% des émissions pendant un cycle complet entre deux coulées peuvent être collectées. Il existe vraiment très peu d'installations classées qui ne possèdent pas de 4^{ème} trou mais seulement un « dog house ». Plus de 50% des aciéries électriques dans l'union européenne sont équipés, en plus d'un 4^{ème} trou, d'un système permettant l'évacuation de l'air intérieur du bâtiment, et spécialement des hottes en toiture (voir figure 9.6).

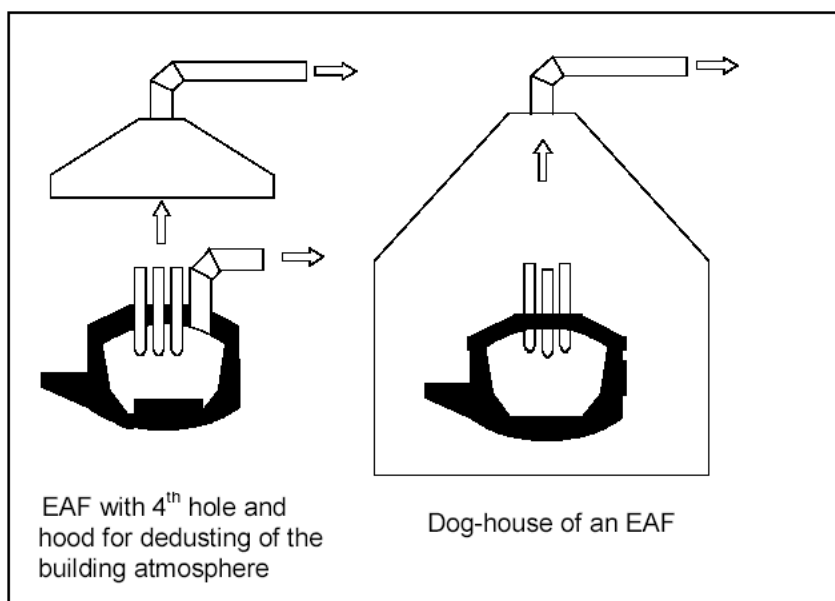


Figure 9.6 : Captage des poussières dans un four à arc électrique

De cette manière, la plupart des émissions dites secondaires, provenant du chargement, de la coulée ou de fuites du four pendant la fusion, peuvent être captées. Ainsi, si les étapes de la métallurgie secondaire sont effectuées dans le même bâtiment, leurs émissions peuvent également être collectées. Très souvent le traitement des émissions du circuit primaire et secondaire est réalisé par le même dispositif: les filtres à manches. Le tableau 9.2 résume l'efficacité des techniques de captage des émissions au cours des principales étapes de fabrication de l'acier dans un four à arc électrique.

Sources d'émissions	Manutention des ferrailles et coulée	Fusion dans le four à arc électrique	Métallurgie secondaire	Chargement	Coulée continue
Technique de captage					
4 ^{ème} trou	Non	Oui	Oui si équipement présent	Non	Non
Hotte en toiture	Oui en partie	Oui	Oui si équipement présent	Oui en partie	Oui en partie
Dog-house	Non	Oui	Oui si équipement présent	Seulement si dog-house fermé	Non
Evacuation totale du bâtiment	Oui	Oui	Oui	oui	Oui

Tableau 9.2 : Systèmes de captage des émissions des fours à arc électrique

La figure 9.7 indique les pourcentages des 4 systèmes de captage des émissions en Europe, indiquant qu'un tiers des installations ont un 4^{ème} trou pour le captage des émissions primaires.

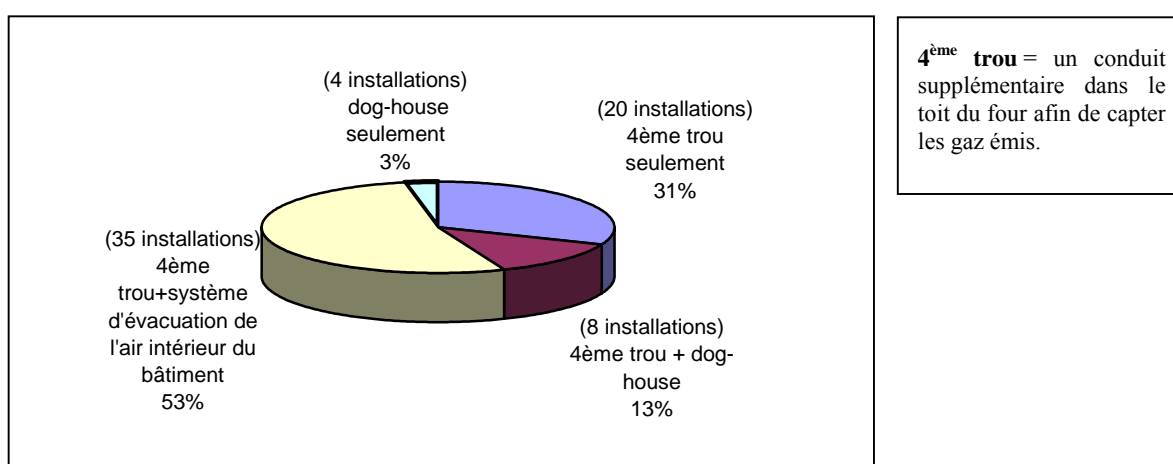


Figure 9.7 : Pourcentage des systèmes de captage des poussières dans 67 aciéries électriques en Europe

Les rejets primaires contiennent 14-20 kg de poussières par tonne d'acier liquide ou d'acier faiblement allié et 6-15 kg de poussières dans le cas d'acier fortement allié. La composition des poussières peut être connue lors d'une analyse des poussières des gaz rejetés récoltées soit par les filtres à manches soit par les électrofiltres. Les métaux lourds en phase gazeuse, en particulier le mercure, ne sont pas contenus dans ces particules. Ainsi, ils ne sont pas éliminés par filtration ou électrofiltre. Cependant, la plupart des métaux lourds sont fixés aux particules et séparés des émissions gazeuses avec la poussière retenue.

La gamme des facteurs d'émissions de poussières après abattement est présentée dans le tableau 9.1. La gamme (1-780 g/t d'acier liquide) est extrêmement étendue révélant des grandes disparités dans l'efficacité de captage et la réduction des émissions. En terme de concentration, les émissions de la plupart des installations sont autour ou au dessous de 10 mg poussières / Nm³, mais certaines vont jusqu'à 50 mg/m³. De manière générale, ces facteurs d'émission ou concentrations incluent les émissions de poussières secondaires car les émissions primaires et secondaires sont très souvent traitées par les mêmes dispositifs.

Métaux lourds

Quelques émissions montrent aussi une large gamme (voir tableau 9.1). Certaines valeurs élevées peuvent être à fort enjeu environnemental. Le zinc est le métal avec les plus hauts facteurs d'émission. Les émissions de mercure peuvent varier d'un prélèvement à l'autre, suivant la qualité et la composition de la ferraille. Les émissions de SO₂ dépendent principalement de la quantité de charbon et fuel introduite mais elles ne présentent pas d'enjeu particulier. Les émissions de NO_x ne présentent pas d'intérêt énorme non plus.

COV

Les émissions de COV, et plus particulièrement de benzène peuvent être très élevées et sont liées à l'utilisation de charbon qui dégaze avant d'être brûlé et particulièrement quand le charbon est ajouté sous forme de « nid » au panier de ferrailles. On peut prévoir que les émissions de benzène seront corrélées avec les émissions de toluène, xylènes et autres hydrocarbures dérivés du dégazage du charbon.



Chlorobenzène

Les facteurs d'émissions des chlorobenzènes ont été mesurés dans des installations suédoises (1- 37 mg/t d'acier liquide). Sur une installation allemande des mesures ont prouvé que du chlorobenzène est présent dans les gaz rejetés.

PCB

Les émissions de PCB mesurées varient considérablement de 15 à 45 mg/t d'acier liquide. Elles constituent un enjeu environnemental élevé. On ne sait pas encore, si les PCB peuvent être formés par une synthèse de novo pendant le process et/ou à l'intérieur du dispositif de rejet des gaz (comme c'est le cas dans les usines d'agglomération, voir 4.2.2.1.2.10). Les PCB présents dans la ferraille introduite dans le four, pourraient être la principale source des émissions mesurées. Les PCB présents spécifiquement dans

les transformateurs, machines à laver, sèche-cheveux, hottes de cuisines, brûleurs à huile, lampes fluorescentes... dans la ferraille déchiquetée représentent l'entrée principale de PCB. Cette part prétendue faible peut atteindre 140 ppm (pour la somme de tous les congénères).

Une étude a montré que les émissions de PCB ne fluctuent pas avant et après un filtre à manches qui permet de réaliser de basses concentrations résiduelles en poussières ($< 5 \text{ mg/Nm}^3$) comme valeur moyenne journalière.



PCDD/F

Pour les dioxines, il y a beaucoup de mesures disponibles montrant des facteurs d'émission entre 0,07 et 9 $\mu\text{g I-TEQ/t}$ d'acier liquide. La figure 9.8 présente un exemple de répartition de dioxines et de furannes dans les gaz bruts et épurés émis par un four d'une aciérie électrique.

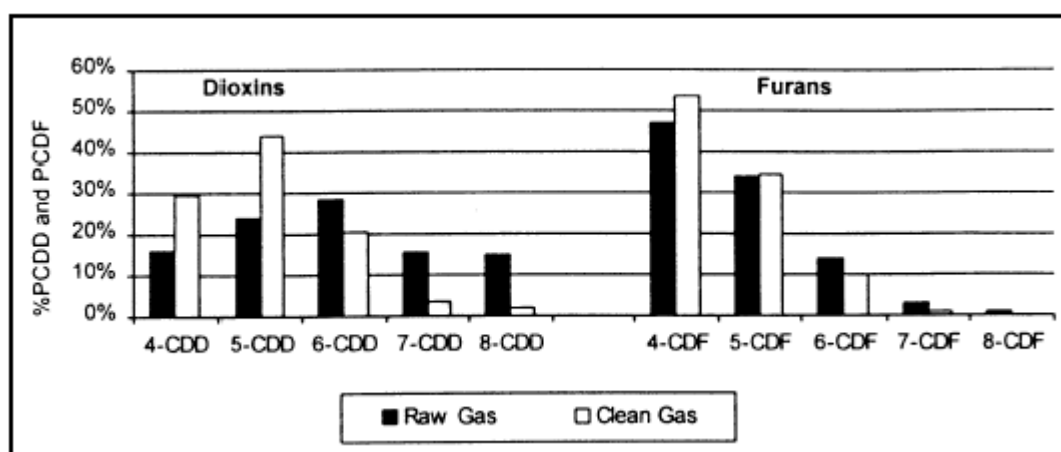


Figure 9.8 : Répartition des dioxines et des furannes dans les gaz émis par un four à arc électrique avec préchauffage de la ferraille avant et après abattement.

D'après les études présentées dans le tableau ci dessus, les dioxines à 4 et 5 atomes de chlore sont les plus importantes. Il n'y a pas d'information fiable permettant de conclure si les émissions de dioxines proviennent principalement de l'introduction de dioxines par les intrants ou par la synthèse de novo. Si l'on trace sur un graphe les émissions de dioxines en fonction de la température des gaz émis (figure 9.9) ou de la teneurs en poussières (figure 9.10), il y a dans les 2 cas corrélation.

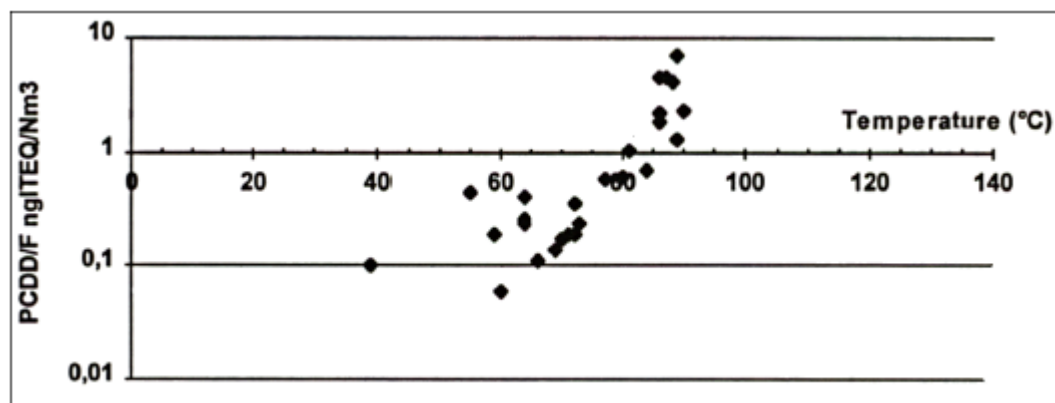


Figure 9.9 : Corrélation entre les émissions de PCDD/F et la température des gaz émis (après abattement avec un filtre à manches) dans un four à arc électrique

La figure 9.9 indique qu'aussi longtemps que la température est en dessous de 75°C, les émissions de PCDD/F resteront en dessous de 1 ng I-TEQ/Nm³. D'un point de vue physique, ce phénomène s'explique par la baisse de la volatilité des dioxines avec la baisse de température. A basses températures les dioxines tendent de plus en plus à être adsorbées par le filtre à poussières.

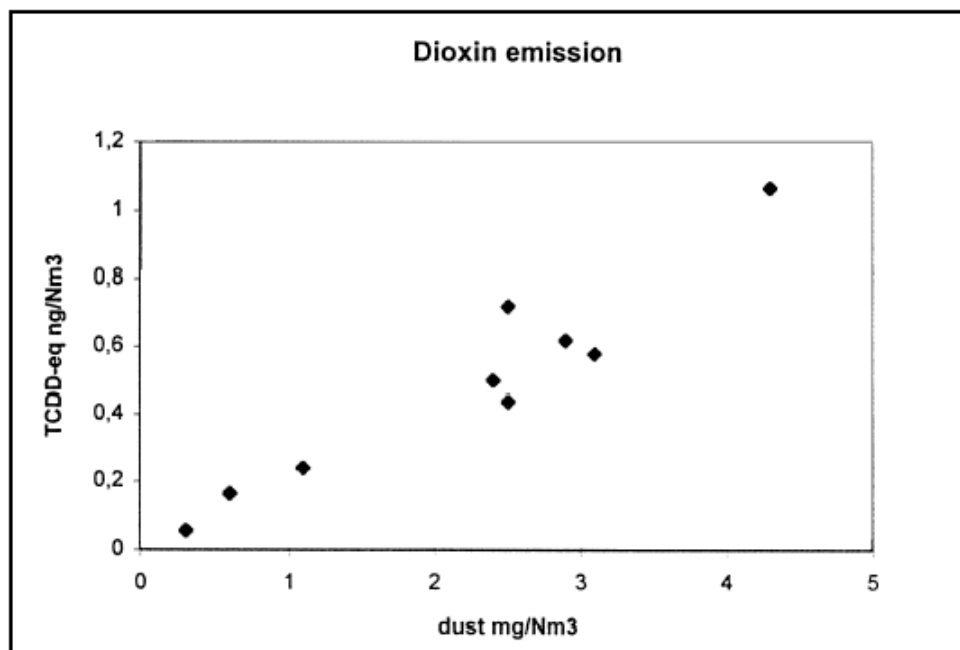


Figure 9.10 : Corrélation entre la quantité de poussières résiduelles et les concentrations en PCDD/F (après abattement par filtre à manches) dans un four à arc électrique à des températures inférieures à 85°C.

L'observation qu'il y a un lien étroit entre la poussière et les émissions de dioxine doit être reliée à la température des gaz émis. Le contenu de la poussière elle-même dépend des caractéristiques du filtre à poussière (dimension, qualité...) mais aussi de l'humidité relative des gaz émis, laquelle peut être élevée dans le cas de quenching de gaz de sortie ou des installations se situant à proximité de la mer (figure 9.11).

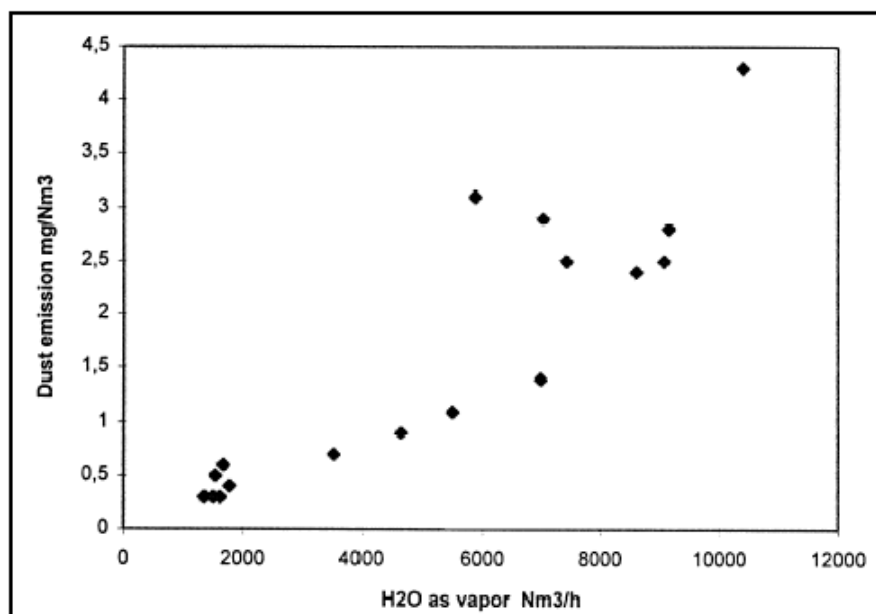


Figure 9.11 : Corrélation entre la vapeur et la quantité de poussières résiduelles (après abattement par un filtre à manches) dans un four à arc électrique.

HAP

Les facteurs d'émissions de HAP sont aussi relativement élevés (3,5 – 71 mg/t d'acier liquide, tableau 9.1) mais il n'y a pas beaucoup d'études sur ce sujet. Les HAP sont aussi déjà présents dans les ferrailles introduites dans le four mais peuvent également être formés pendant l'opération de montée en température dans le four à arc. L'hypothèse d'une adsorption, dans une large proportion, des HAP aux poussières sur le filtre n'a pas pu être confirmée dans des études menées au Luxembourg, où les émissions d'HAP sont restées inchangées avant et après l'abattement par un filtre à manches (qui permet d'obtenir de basses concentrations résiduelles en poussières (< 5 mg/ Nm³) comme valeur moyenne journalière).

9.2.2.1.1.2 Les gaz émis lors du procédé de métallurgie secondaire

Les connaissances sur les émissions de la métallurgie secondaire (principalement des poussières) sont très limitées. Une étude d'un pays européen rapporte que les facteurs d'émissions des poussières avant abattement de 7 AOD/VOD se situent dans un intervalle de 6-15 kg de poussières /t d'acier liquide et une seule installation a un facteur d'émission de 1,35 kg poussière /t d'acier liquide. Ces 7 installations ont un dispositif de dépoussiérage indépendant de celui du four à arc. Les facteurs d'émissions ou les concentrations après abattement ne sont pas rapportées dans ce BREF.

9.2.2.1.2 Les émissions gazeuses secondaires provenant de la manutention et du chargement de la ferraille, de la coulée de l'acier, de la seconde métallurgie avec les opérations de coulée, et de la coulée continue

Les émissions secondaires sont principalement des émissions de poussières à l'exception des gaz provenant des fuites du four qui contiennent tous les polluants décrits pour les rejets primaires.

Les études sur les émissions secondaires sont plutôt limitées. Les émissions mesurées avant abattement lors de l'étape de chargement du four à arc sont de l'ordre de 0,3 – 1 kg de poussière/t et pour la coulée de l'ordre de 0,2 – 0,3 kg poussière/t. Pour les fuites de fumées, qui ont lieu au niveau du four, le facteur d'émission des poussières fluctue entre 0,5-2 kg poussière/t.

Les facteurs d'émission pour la somme des 3 sources mentionnées (chargement, coulée et fuites) sont entre 1.4 et 3 kg/t d'acier liquide. Cela peut être considéré comme une confirmation que les émissions primaires sont 10 fois plus importantes que les émissions secondaires.

Les études menées sur la quantité d'émissions de poussières lors de la manutention des ferrailles et lors de la coulée continue ne sont pas disponibles.

Habituellement, les émissions secondaires sont traitées avec les émissions primaires. Les filtres à manches sont largement utilisés (90% des installations utilisent ces filtres à manches) mais dans quelques cas les électrofiltres et des épurateurs humides sont employés.

En ce qui concerne les micropolluants comme les composants organochlorés, et en particulier les PCDD/F, la contamination des émissions secondaires (principalement les fuites au niveau du four à arc) contribuent à l'ensemble des émissions. Quand les valeurs limite d'émission de 0,5 ng I-TEQ/m³ doivent être satisfaites, les émissions secondaires doivent être prises en considération.

9.2.2.1.3 Emanations lors du traitement du laitier

Le traitement du laitier comporte un système de refroidissement par pulvérisation impliquant des fumées. Ces fumées peuvent être à forte teneur alcaline si le laitier contient des ions CaO (tableau 9.4). C'est d'ailleurs très souvent le cas. Les dépôts alcalins des fumées peuvent causer des désagréments pour les riverains.

9.2.2.2 Déchets et sous-produits

Les nombreux sous produits/déchets des aciéries électriques ont été reportés avec leurs quantités spécifiques dans le tableau 9.3.

Déchets/sous-produits	Quantités spécifiques associées [kg/t d'acier liquide]
Laitier de la production d'acier carbone et faiblement allié :	
Laitier du four	100-150
Laitier des poches d'affinage	10-30
Laitier de la production d'acier hautement allié :	
Laitier du four	100-135
Laitier des poches d'affinage	30-40
Laitier provenant du VOD/AOD	Ca. 160
Poussières provenant d'acier carbone/faiblement allié/hautement allié	10-20
Briques réfractaires	2-8

Tableau 9.3 : type et quantités spécifiques des déchets et sous-produit d'une aciérie électrique

9.2.2.2.1 Laitier provenant d'acier carbone/ acier faiblement allié/ acier fortement allié

La composition du laitier provenant de la production d'acier carbone et d'acier faiblement allié est décrite dans le tableau 9.4

En outre, ce tableau décrit la composition du laitier provenant de la production d'acier inoxydable et provenant de la métallurgie secondaire (AOS/VOD).

D'autres éléments (que ceux présents dans le tableau 9.4) à l'état de traces ont été mesurés comme par exemple le Pb, As, Sb, Hg, Cl, F et le chrome hexavalent.

	Production d'acier carbone/faiblement allié		Production d'acier fortement allié	Métallurgie secondaire	
Composants	laitier du four	laitier des poches d'affinage	laitier du four	laitier de l'AOD	laitier du VOD
Fe _{tot}	10-32	<2-5	<2	<1-2	Max 2
CaO	25-45	30-50	45	35-50	35-50
CaO _{libre}	< 4	<10	<10	5-max 10	Max 5
SiO ₂	10-14	10-20	30	25-35	20-30
Al ₂ O ₃	3-8	3-12	5	1-10	1-10
MgO	4-13	7-18	7	4-7	5-15
MnO	4-12	<1-5	2	1	-
Cr ₂ O ₃	1-2	<0,5	3	1-5	1-5
TiO ₂	0,3	-	-	-	-
P ₂ O ₅	0,01-0,-	-	-	-	-
Na ₂ O	0,46	-	-	-	-
K ₂ O	0,11	-	-	-	-
V ₂ O ₅	0,11-0,25	-	-	-	-

ZnO	0,02	-	-	-	-
CuO	0,03	-	-	-	-
NiO	0,01-0,4	-	-	-	-
S	0,02	-	-	-	-
C	0,33	-	-	-	-

Tableau 9.4: Composition chimique du laitier dans une aciérie électrique

En Europe, la plupart des laitiers provenant des aciers carbone et faiblement alliés des aciéries est encore mise en décharge, alors que le pourcentage de laitier réutilisé pour la production d'aciers fortement alliés est significativement plus haut. Mais un tiers de ce laitier est tout de même mis en décharge et stocké.

Type d'acier	Qté totale de laitier	Réutilisation en usine		Usage externe		Vendu à un autre exploitant		Mise en décharge et stocké	
	Kt/a	Kt/a	%	Kt/a	%	Kt/a	%	Kt/a	%
Acier carbone	1796	45,1	2,5	494,8	27,6	13,7	0,8	1242	69,2
Acier faiblement allié	444	-	-	61,6	13,9	108	24,4	261	58,9
Acier fortement allié	461	81,4	17,7	68	14,8	160	34,7	156	33,9
Total	2700	126,5	4,7	624,4	23,1	281,7	10,4	1659	61,4

Tableau 9.5 : Destination du laitier des fours à arc électrique en Europe, données recueillies après enquête sur 57 sites industriels produisant 2,7 millions de tonnes par an de scories (133 kg/t LS)

Ainsi la plupart du laitier provenant du traitement en poche d'affinage et de la métallurgie secondaire est majoritairement mise en décharge, en ce qui concerne l'union européenne à peu près 80% sont mis en décharge. La part de mise en décharge comparée à la partie réutilisée varie selon les pays de l'union européenne suivant les conditions légales, la disponibilité des terrains, les taxes, la situation du marché, les coûts et la possibilité de réutiliser le laitier traité.

9.2.2.2.2 Poussières provenant du traitement des gaz

Comme cela a déjà été mentionné, le traitement des gaz (principalement les gaz primaires associés aux gaz secondaires) est généralement réalisé par des filtres à manches. La composition des poussières provenant de la production d'acier carbone, d'acier faiblement allié ou d'acier fortement allié, est présentée dans le tableau 9.6

Composition	Poussière provenant d'acier carbone/ acier faiblement allié	Poussière provenant de l'acier fortement allié
Fe_tot	25-50	30-40
SiO ₂	1,5- 5	7-10
CaO	4-15	5-17
Al ₂ O ₃	0,3-0,7	1-4

MgO	1-5	2-5
P ₂ O ₅	0,2-0,6	0,01-0,1
MnO	2,5- 5,5	3-6
Cr ₂ O ₃	0,2-1	10-20
Na ₂ O	1,5-1,9	-
K ₂ O	1,2-1,5	-
Zn	10-35	2-10
Pb	0,8-6	0,5-2
Cd	0,02-0,1	0,01-0,08
Cu	0,15-0,4	0,01-0,3
Ni	0,02-0,04	2-4
V	0,02-0,05	0,1-0,3
Co	0,001-0,002	-
As	0,003-0,08	-
Hg	0,0001-0,001	-
Cl	1,5-4	-
F	0,02-0,9	0,01-0,05
S	0,5-1	0,1-0,3
C	0,5-2	0,5-1
Basicité	2,0-6,5	-
humidité	6-16	-

Tableau 9.6 : Composition chimique des poussières du four à arc électrique

En Europe a peu près deux tiers des poussières est mis en décharge (figure 9.12):

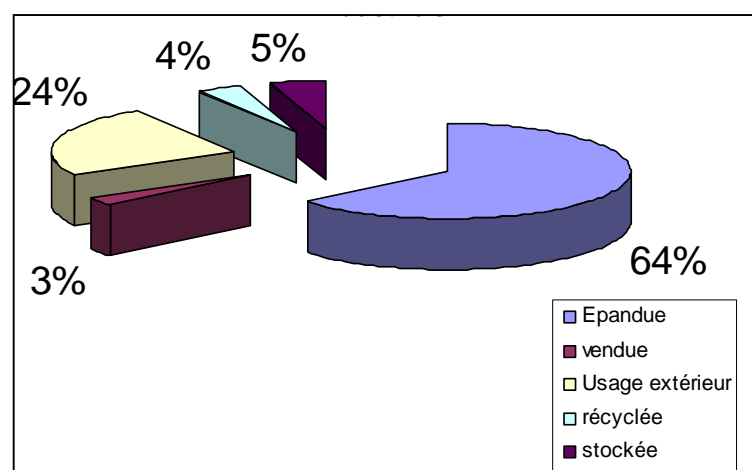


Figure 9.12 : Destination des poussières collectées dans les émissions primaires et secondaires de gaz

Le tableau 9.7 indique qu'en Autriche, en Allemagne et dans les états du Benelux le recyclage des poussières atteint un taux élevé, alors que ce n'est pas le cas dans les pays d'Europe du sud et en Angleterre.

Pays	Quantité totale des poussières (t/a)	Quantité des poussières valorisées par le processus de Waelz (t/a)	Pourcentage	Destin de la quantité résiduelle de poussières
Autriche et Suisse	30000	25000	83	Mise en décharge
Benelux	65000	55000	85	Mise en décharge
Danemark	12000	-	100	-
France	90000	30000	33	Mise en décharge
Allemagne	150000	105000	70	Mise en décharge et remplissage des mines
Italie	180000	80000	44	Mise en décharge et réutilisat° dans une usine « I-Enirisorse »
Scandinavie	30000	10000	33	Mise en décharge et stockage pour recyclage pour plus tard
Espagne et Portugal	120000	25000	20	Mise en décharge
Angleterre	65000	0	0	Mise en décharge
Total	730000	330000	45	

Tableau 9.7 : Pourcentages de poussières filtrées en sortie de four par le procédé de Waelz pour la récupération du zinc, et mise en décharge dans les pays membres de l'Union européenne en 1997.

Les décharges où sont éliminées les poussières sont équipées de différents systèmes de couverture de sols. Une étude de 1996 rapporte les pourcentages des différentes techniques utilisées en Europe (tableau 9.13)

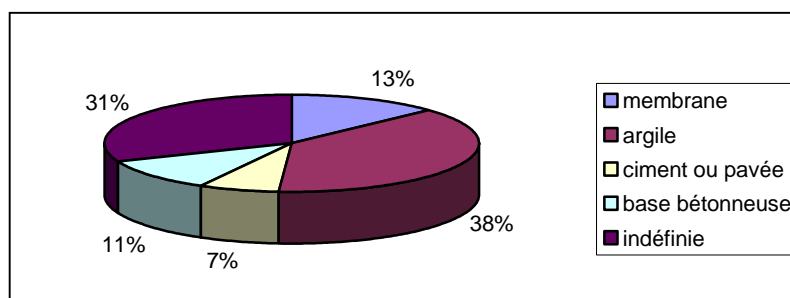


Figure 9.13 : Pourcentages de différents systèmes de couverture du sol dans les décharges des poussières des filtres dans les aciéries électriques

Les poussières filtrées de 14 sites industriels en Europe, produisant des aciers fortement alliés et des aciers inoxydables sont réutilisées jusqu'à un niveau beaucoup plus élevé dans le but de récupérer le nickel et/ou le chrome et/ou le molybdène. Un tiers de ces poussières est tout de même mis en décharge mais le pourcentage de ce type de recyclage augmente nettement.

9.2.2.2.3 Les briques réfractaires

Dans la majeure partie des cas les briques réfractaires sont mises en décharges

9.2.2.3 Emissions d'eaux usagées

9.2.2.3.1 Eaux de ruissellement provenant des parcs à ferraille

Les différentes sortes de ferraille, principale matière première des aciéries électriques, sont souvent stockées dans des parcs sans revêtement au sol. Les eaux de ruissellement peuvent être contaminées, et spécialement dans le cas de ferraille pouvant contenir des huiles ou des émulsions comme les tournures. Il n'y a pas d'information disponible sur les quantités et les pollutions de ces eaux de ruissellement. Habituellement, ces eaux sont au moins traitées par un séparateur d'hydrocarbures avant d'être rejetées au milieu naturel.

9.2.2.3.2 Eaux usagées provenant des épurateurs de gaz

En Europe, dans certains cas, les gaz émis sont traités par un épurateur à voie humide. Il n'y a pas d'information disponible sur les techniques de traitement de ces eaux, les quantités rejetées et les pollutions qu'elles engendrent.

9.2.2.3.3 Eaux usées provenant de la coulée continue

Les eaux usées proviennent du système de refroidissement direct de la coulée continue. Les eaux usagées contiennent des particules provenant des battitures (1-3 g/l) et des huiles et graisses. D'ordinaire ces eaux sont traitées en même temps que les rejets du laminoir.

9.2.2.4 Contamination des sols

Dans beaucoup de cas le parc à ferrailles est non revêtu et non couvert. La contamination des sols peut provenir du stockage de ferraille contaminée par des huiles ou d'autres composants. Il n'y a pas d'information disponible sur ce type de contamination.

Si le stockage du laitier s'effectue à même la terre et que le laitier brut contient du CaO libre, de l'eau alcaline peut s'infiltrer dans le sol.

9.2.2.5 Bruit

Les principales sources du bruit dans une aciérie électrique sont :

- l'aciérie incluant le four
- le parc à ferrailles
- dépoussiérage du circuit primaire
- dépoussiérage par la hotte en toiture
- équipements de traitement de l'eau

Les mesures du bruit émanant des fours principaux traditionnels sont de l'ordre de 118-133 dB(A) pour les fours d'une capacité >10t et de 108-115 dB(A) pour les fours d'une capacité <10t. Dans les aciéries électriques les niveaux de bruit s'élèvent à hauteur maximum de 127dB(A).

9.3 Les techniques à prendre en compte pour la détermination des MTD

9.3.1 Les mesures intégrées au process (Process Integrated : PI)

9.3.1.1 PI 1 : Optimisation du process du four à arc électrique

Description

Le procédé industriel du four à arc électrique a été fortement amélioré dans le but de l'optimiser et d'augmenter la productivité, ce qui est corrélé avec une baisse de la consommation énergétique spécifique.

Les principales techniques/mesures sont les suivantes et sont brièvement décrites par la suite :

- fonctionnement à très (ultra) haute puissance (UHP)
- parois latérales et toits refroidis à l'eau
- brûleurs oxy-fuel et lances à oxygène
- système de coulée par le fond
- pratique de l'écumage du laitier
- métallurgie secondaire ou en poche d'affinage
- automatisation

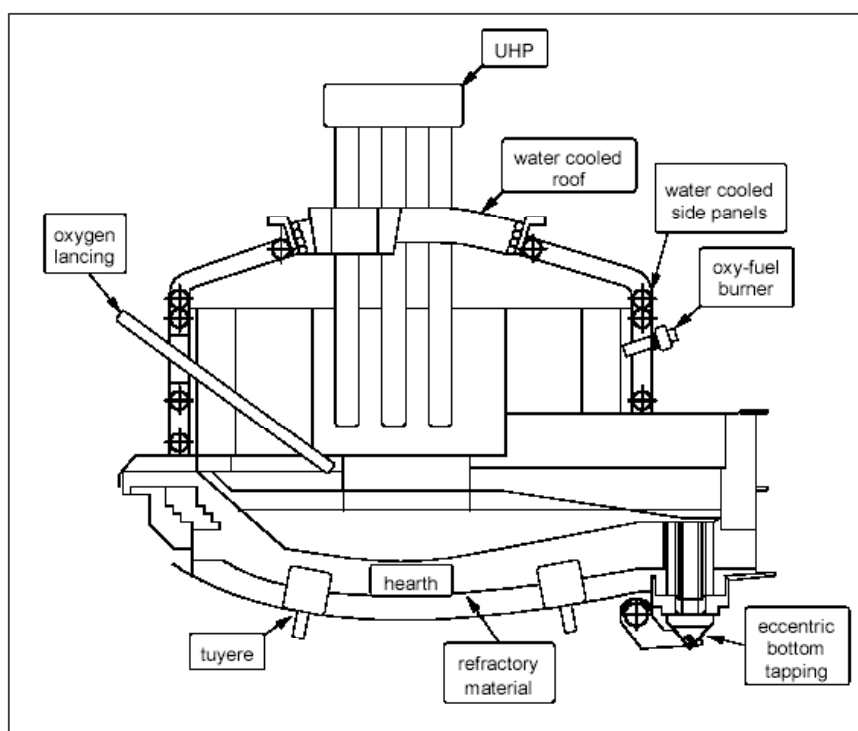


Figure 9.14 : Schéma d'un four à arc électrique avec l'indication des techniques d'optimisation

Fonctionnement à (ultra) haute puissance

Les efforts pour réduire les cycles de coulée ont conduit à l'installation de transformateurs de fours plus puissants. Les caractéristiques décisives pour les fours à haute puissance sont l'alimentation électrique spécifique, le rendement énergétique ($\geq 0,7$), la gestion des périodes d'utilisation du transformateur ($\geq 0,7$). Le fonctionnement à haute puissance peut conduire à une plus grande productivité, une consommation spécifique réduite des électrodes et une réduction du volume du gaz rejeté, mais aussi entraîner une détérioration accrue du revêtement du four.

Parois et toits refroidis par de l'eau

Durant les deux dernières décennies, les parois du four et les toits ont été doublés avec des panneaux refroidis à l'eau, permettant d'économiser les matériaux réfractaires, d'utiliser la technologie de four à haute puissance et également de réutiliser la chaleur perdue par la mise en œuvre de mesures de récupération d'énergie. Cependant, il faut vérifier au cas par cas si la récupération d'énergie est économiquement viable. Dans le principe, il existe deux systèmes de refroidissement. Dans le cas du refroidissement dit à froid ou à chaud, l'eau de refroidissement circulant à travers les tuyaux spiralés récupère par une augmentation de sa température l'énergie perdue. Pour le refroidissement par évaporation, la récupération de la chaleur de rayonnement due à l'arc électrique s'effectue par l'évaporation de l'eau de refroidissement. Pour protéger des contraintes thermiques le côté refroidi par l'eau, en particulier lorsque l'opération d'écumage du laitier n'est pas possible, il est utile de mettre en œuvre un procédé de régulation de fusion contrôlé par ordinateur afin de lutter contre la déchirure des panneaux suite aux tensions mécaniques, ce procédé permettant également de préserver les matériaux réfractaires.

Brûleurs oxyfuel et lances à oxygène

Les brûleurs oxyfuel favorisent la fusion homogène de la ferraille. Ils permettent aussi partiellement de compenser les effets d'une exigence de contrôle maximale sur la consommation en électricité. Habituellement, l'énergie additionnelle nécessaire au fonctionnement des brûleurs oxyfuel et des lances à oxygènes a pour conséquence une diminution de l'énergie totale d'entrée requise.

Système de coulée par le fond

La coulée par le fond est largement adoptée de nos jours, dans la mesure où elle rend possible la minimisation de la quantité de laitier oxydé dans la poche durant la coulée. Elle permet aussi les économies par la diminution de la quantité de matériaux réfractaires nécessaires, par une coulée plus rapide et par les déperditions d'énergie réduites. De plus, elle simplifie la capture de la vapeur. Alors que quelques vieux fours sont encore équipés de becs, habituellement la plupart des fours à arc électrique sont équipés de systèmes de coulée par le fond.

Pratique de l'émulsification du laitier

L'émulsification du laitier à l'intérieur du four améliore le transfert de chaleur aux charges entrées, et protège aussi les matériaux réfractaires à l'intérieur du four. A cause de la meilleure stabilité de l'arc et de moins d'effets de rayonnement, la pratique de l'émulsification du laitier conduit à des réductions de la consommation d'énergie, de la consommation d'électrodes, du niveau de bruit, et à une augmentation de la productivité. Elle a également des effets positifs sur plusieurs réactions métallurgiques (par exemple entre la ferraille et la fonte). La densité du laitier émulsifié est plus faible que celle du laitier traditionnel contenant du FeO du four à arc électrique ($1,15-1,5\text{t/m}^3$ comparé à $2,3\text{t/m}^3$). Pour cette raison, le volume de laitier produit pendant la fabrication de l'acier augmente et peut nécessiter de plus grands conteneurs pour les stocker. Après la coulée, le laitier dégaze encore partiellement. Aucune information n'a été obtenue sur les impacts défavorables de la pratique de l'émulsification du laitier ni sur les possibilités de réutilisation de ceux-ci. Il faut également noter que la pratique de l'émulsification du laitier pour la fabrication d'acier de qualité supérieure est souvent impossible.

Métallurgie secondaire ou en poche d'affinage

Quelques étapes de la production ne doivent pas nécessairement être conduites dans le four à arc électrique lui-même et peuvent être menées à bien avec plus d'efficacité dans d'autres équipements (comme la désulfuration, l'alliage, l'homogénéisation de la température et chimique). Actuellement, ces tâches ont été transférées du four à arc électrique aux poches d'affinage, aux fours-poches ou d'autres équipements. Les avantages rapportés pour ce développement sont les économies d'énergie (économies nettes de 10-30 kWh/t), une réduction du temps du cycle de coulée de 5 à 20 minutes, une augmentation de la productivité, un meilleur contrôle de la température de l'acier issu de la coulée continue, une possible réduction de la consommation de l'électrode (jusqu'à 0.1 à 0.74 kg/t), des économies d'alliage, une diminution des émissions du four à arc électrique lui-même. Un possible inconvénient de l'utilisation des poches d'affinage et d'autres équipements en rapport avec le contrôle de la pollution de l'air est l'augmentation du nombre de sources d'émissions, nécessitant plus d'investissements pour les équipements de contrôle de la pollution (des équipements additionnels de captage des émissions telles les hottes en toiture sont nécessaires).

Automatisation

Le contrôle par ordinateurs dans les aciéries électriques est devenu nécessaire depuis quelques années, dans la mesure où les flux élevés d'information nécessitent des systèmes de contrôle efficaces pour gérer les matériaux et les données intervenant dans la sélection des matières premières, le four à arc électrique, les poches d'affinage et la coulée continue. Des systèmes efficaces de contrôle permettent une

augmentation de la productivité, une réduction de la consommation d'énergie et aussi une diminution des émissions de poussières.

Principaux niveaux d'émission atteints

Mentionnés ci-dessus (description)

Applicabilité

Les techniques décrites sont applicables aussi bien aux nouvelles qu'aux anciennes installations, mais doivent être vérifiées pour chacune des installations.

Effets croisés

Les brûleurs oxy-fuel augmentent les flux de gaz rejetés, mais ils permettent de diminuer la quantité totale d'énergie nécessaire.

Le refroidissement à l'eau des parois nécessite des besoins supplémentaires en énergie d'environ 10-20kWh/t mais qui peuvent être compensés par des avantages sur le plan de la disponibilité et de la maintenance de l'installation. Cette technique a également permis de mettre en œuvre des technologies modernes comme les fours à haute puissance et à ultra haute puissance.

Installations de référence

Plusieurs installations en Europe sont équipées avec les techniques décrites et fonctionnent dans des conditions optimisées. Le tableau 9.8 récapitule les données concernant 9 aciéries électriques allemandes fonctionnant dans des conditions optimisées.

	Aciérie 1	Aciérie 2	Aciérie 3	Aciérie 4	Aciérie 5
En fonctionnement depuis	1979	1968/1976	1995	1994	1995
Type de four	Courant alternatif Ultra haute puissance	Courant alternatif Ultra haute puissance	Courant continu Ultra haute puissance	Courant continu Ultra haute puissance	Courant continu Ultra haute puissance
Qualité d'aciers produits	Acier carbone	Acier carbone	Acier carbone	Acier carbone	Acier carbone
Poids de l'acier vidangé (t)	135	85 chacun	100	125	120
Puissance du transformateur (kVA/t)	711	800 chacun	140	130	120
Matières premières	Ferraille	Ferraille	Ferraille	Ferraille	Ferraille
Système de refroidissement	murs de côté et les toits refroidis par de l'eau	murs de côté et les toits refroidis par de l'eau	murs de côté et les toits refroidis par de l'eau	murs de côté et les toits refroidis par de l'eau	murs de côté et les toits refroidis par de l'eau
Système de coulée	Coulée en fond excentré	Coulée en fond oval	Coulée en fond excentré	Coulée en fond excentré	Coulée en fond excentré
Capacité (t/a)	600000	600000 chacun	750000	600000	600000
Brûleurs additionnels	Lance à oxygène (murs de côté)	Brûleurs de carburants (murs de côté et porte)	Brûleurs à gaz	Brûleurs à oxygène	Brûleurs à oxygène et à gaz naturel
Carburants additionnels	-	-	charbon	charbon	charbon
Système de collecte de émissions	Extraction directe (4 ^{ème} trou), toit	Extraction directe (4 ^{ème} trou), toit	2 ^{ème} trou, toit	2 ^{ème} trou, toit	2 ^{ème} trou, dépoussiérage des fours-poches, clôture du four
Système dépuratif des gaz émis	Post-combustion, précipitateur électrostatique sec	Post-combustion, extinction, filtres à manches	Post-combustion avec brûleurs, extinction (air), filtres à manches	Post-combustion avec brûleurs, extinction (eau), filtres à manches	Post-combustion, filtres à manches
Aspects énergétiques	Récupération des gaz rejetés chauds	Non disponible	Récupération des gaz rejetés chauds	Récupération des gaz rejetés chauds	Conduits refroidis par l'eau
Métallurgie secondaire	Four-poche, désulfuration	Four-poche	Four-poche, dégazéification sous vide	Four-poche, dégazéification sous vide	Four-poche

Tableau 9.8 : Données de 9 aciéries électriques allemandes fonctionnant dans des conditions optimisées

Suite du tableau 9.8

	Aciérie 6	Aciérie 7	Aciérie 8	Aciérie 9
En fonctionnement depuis	1978	1981	1995	1982
Type de four	Courant alternatif Ultra haute puissance	Courant alternatif	Courant alternatif	Courant alternatif Ultra haute puissance
Qualité d'aciers produits	Acier carbone	Acier hautement allié	Acier hautement allié	Acier hautement allié
Poids de l'acier vidangé	115	110	100	145
Puissance du transformateur (kVA/t)	910	682	570	724
Matières premières	Ferraille, réduction directe du fer	Ferraille	Ferraille	Ferraille
Système de refroidissement	Parois latérales et toits refroidis par de l'eau	Parois latérales et toits refroidis par de l'eau	Parois latérales et toits refroidis par de l'eau	Parois latérales et toits refroidis par de l'eau
Système de coulée	Coulée en fond excentré	Coulée en fond excentré	Coulée en fond excentré	Coulée en fond excentré
Capacité (t/a)	950000	550000 chacun	400000	600000
Brûleurs additionnels	Lance à oxygène et à carbone (murs de côté)	Brûleurs de carburants (murs de côté et porte)	Brûleurs à oxygène (porte)	Brûleurs à oxygène (murs de côté)
Carburants additionnels	-	-	-	-
Système de collecte des émissions	Extraction directe (4 ^{ème} trou), toit	Extraction directe (4 ^{ème} trou), toit	Extraction directe (4 ^{ème} trou), toit	Extraction directe (4 ^{ème} trou), niche
Système de nettoyage des gaz émis	Post-combustion, extinction, filtres à manches	Précipitateur électrostatique par voie sèche	filtres à manches	Post-combustion, filtres à manches
Aspects énergétiques	Non disponible	Non disponible	Non disponible	Récupération des gaz rejetés chauds
Métallurgie secondaire	Four-poche	Four-poche, dégazéification sous vide	Four-poche, dégazéification sous vide	Four-poche,

Moteurs de la mise en œuvre

La haute compétitivité du marché et le besoin d'augmenter la productivité et de réduire les coûts appuient la mise en place des techniques décrites.

Données opérationnelles et aspects économiques

Les données opérationnelles sont données dans le tableau 9.8, les données économiques ne sont pas disponibles.

9.3.1.2 PI 2 : Le préchauffage de la ferraille

Description

La récupération de la chaleur perdue par les gaz émis est une approche bien connue. Dans les années 70, environ 20 installations ont été construites pour pouvoir préchauffer la ferraille avant de la décharger dans le four. Mais tous ces systèmes ont été mis hors service à cause de problèmes techniques et de problèmes d'émissions. Des nouveaux concepts de four avec cuve intégrée pour le préchauffage de la ferraille sont apparus. Avec le four à cuve unique, au moins 50 % de la ferraille est préchauffée, alors que les nouveaux fours à cuve, équipés de doigts, permettent un préchauffage de la totalité de la ferraille (figure 9.15).

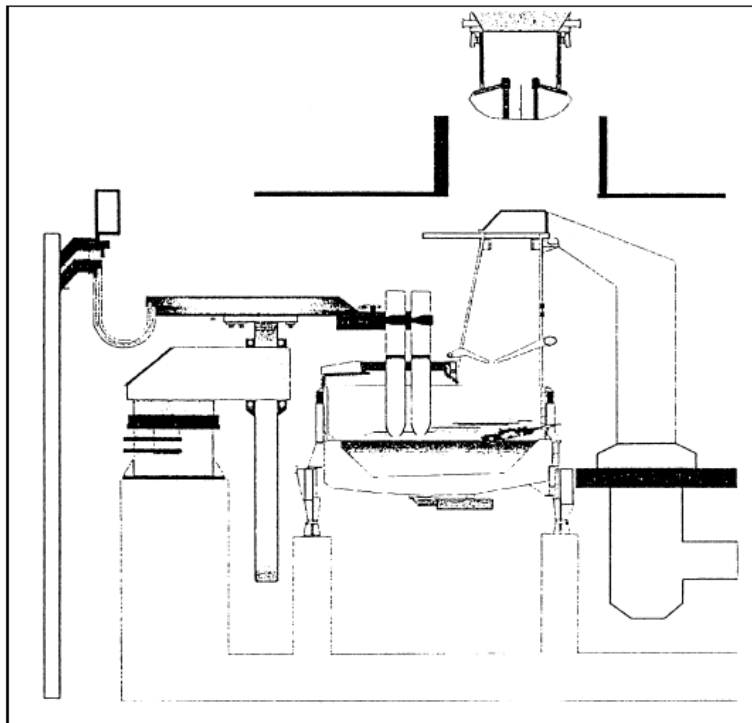


Figure 9.15 : Schéma d'un four à arc électrique avec un panier à cuve équipés de doigts dans le but de retenir la ferraille pour le préchauffage

Avec le four à cuve unique, le cycle de coulée est d'environ 35 minutes, soit 10 à 15 minutes de moins que pour les fours sans préchauffage efficace de la ferraille.

Un autre mode de préchauffage de la ferraille existe, le procédé Consteel (figure 9.16), mais ce système n'est généralement pas considéré comme une technique éprouvée.

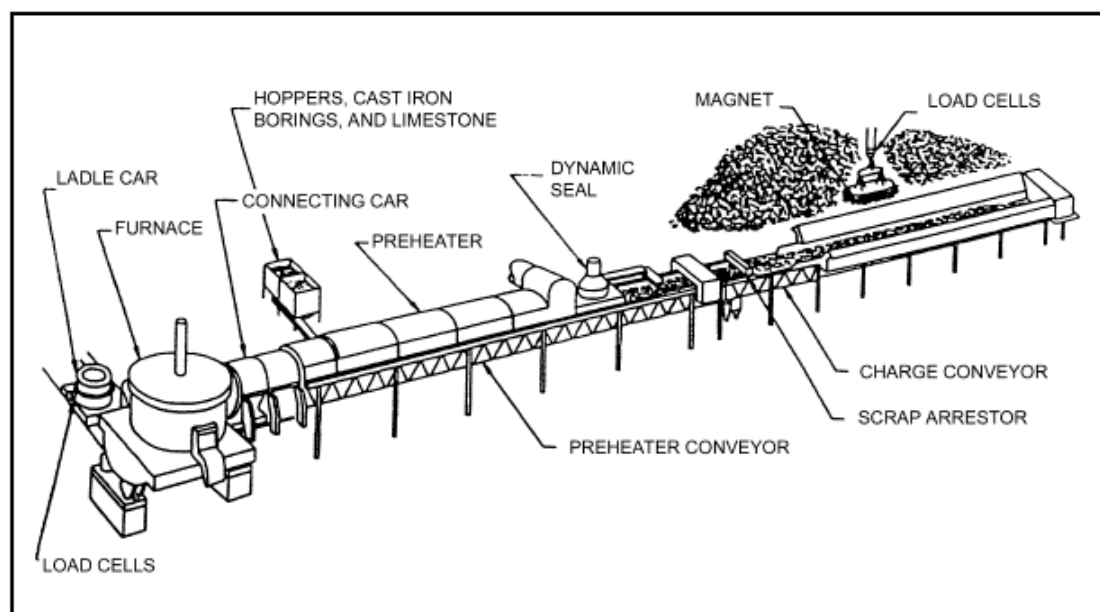


Figure 9.16 : Schéma du procédé Consteel

Principaux niveaux d'émission atteints

Avec le four à cuve unique, jusqu'à 70kWh/t d'acier liquide de puissance électrique peut être économisée. Calculées sur la base d'énergie primaire, les économies sont en réalité 3 fois plus importantes compte tenu de la faible efficacité de l'alimentation électrique. De plus, le préchauffage de la ferraille réduit significativement le temps d'un cycle de coulée, ce qui implique une augmentation considérable de la productivité.

Le four à cuve à doigt permet des économies d'énergie jusqu'à 100kWh/t d'acier liquide ce qui représente environ 25 % de l'électricité totale d'entrée. En combinaison avec un traitement avancé des gaz émis (voir EP 2) le préchauffage de la ferraille peut jouer un rôle important dans l'optimisation de l'aciérie électrique non seulement sur le plan de la productivité mais aussi pour la réduction des émissions.

Le préchauffage de la ferraille conduit également à un effet secondaire qui est la réduction des émissions des poussières de 20 % par le fait que les gaz émis passent à travers la ferraille qui joue un rôle de filtre. Cette réduction est en corrélation avec une augmentation de la teneur en zinc dans les poussières qui justifie leur recyclage.

Applicabilité

Applicable aussi bien aux nouvelles qu'aux anciennes installations. Dans le cas d'installations existantes, les circonstances locales comme la disponibilité de place ou un concept de four donné doivent être vérifiés pour chaque installation.

Effets croisés

Le préchauffage de la ferraille dans un four à cuve peut conduire à une augmentation de micropolluants organiques et des odeurs, comme les PCDD/F, à moins d'un traitement thermique adéquat des gaz émis. Un traitement additionnel de ceux-ci nécessitant un apport d'énergie, peut être nécessaire. Mais en comparaison avec l'énergie économisée par le préchauffage de la ferraille, cette consommation supplémentaire d'énergie peut être raisonnable et acceptable, en particulier si l'on prend en compte le fait que la puissance électrique est générée à partir de l'énergie thermique avec un rendement de 35 % et que pour la post-combustion du gaz naturel est utilisé.

Installations de référence

Four à arc électrique avec cuve unique : Co-Steel Sheerness à Sheerness (Angleterre),

Four à arc électrique avec cuve à doigt : Cockerill-Sambre à Charleroi (Belgique), Gerlafingen Stahl AG à Gerlafingen (Suisse),

Four à double cuve avec préchauffage intégré : ARES à Schiffnange (Luxembourg), ASW à Montereau (France), Nervacero en Espagne.

Moteurs de la mise en œuvre

Le principal moteur de ces développements est l'augmentation de productivité. Dans certains cas, le préchauffage de la ferraille a été installé en combinaison avec un système de traitement avancé des gaz émis.

Aspects économiques

Non disponibles.

9.3.1.3 PI 3 : Système de refroidissement par un circuit d'eau fermé

Description

Généralement, dans les procédés des aciéries électriques, l'eau est seulement utilisée dans le cas de refroidissement sans contact et dans le cas où les gaz sont traités par voie humide. Comme l'épurateur humide est rarement utilisé, ce sujet ne sera plus abordé par la suite. Dans le cas présent, l'utilisation considérée la plus courante de l'eau est le refroidissement des éléments du four. De plus, un peu d'eau peut être utilisé pour le refroidissement des gaz émis ou pour la partie métallurgie secondaire. L'eau nécessaire en fonction des éléments à refroidir s'élève à $5-12\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$.

Les installations modernes fonctionnent avec des systèmes de refroidissement fermés pour le four à arc électrique et la partie métallurgie secondaire.

Principaux niveaux d'émission atteints

Aucune décharge d'eaux usées.

Applicabilité

Applicable aux nouvelles comme aux anciennes installations.

Effets croisés

Le système de refroidissement par un circuit d'eau fermé nécessite plus d'énergie pour le pompage de l'eau et le refroidissement de l'eau.

Installations de référence

Preussag Sthal AG à Peine (Allemagne), BSW à Kehl (Allemagne) et plusieurs autres installations en Europe.

Moteurs de la mise en œuvre

Les conditions légales et la disponibilité limitée de l'eau de refroidissement.

Données opérationnelles et aspects économiques

Non disponibles.

9.3.2 Les techniques de fin de process (End-of-pipe techniques : EP)

9.3.2.1 EP 1 : Systèmes avancés de captage des émissions

Description

Les émissions primaires et secondaires dans l'air sont de première importance (9.2.2.1). Les techniques de réduction disponibles doivent être utilisées autant que possible pour traiter les émissions brutes. Ainsi la collecte des émissions est importante. L'extraction directe par le 4^{ème} trou (dans le cas de 3 électrodes) ou le 2^{ème} trou (dans le cas d'une électrode) associée à un système de hotte (ou confinement du four) ou l'évacuation totale sont les systèmes privilégiés.

Un 4^{ème} ou 2^{ème} trou (figure 9.6) doit permettre la collecte de l'essentiel des émissions primaires générées pendant la période de fusion et d'affinage de l'acier. Ce type d'extraction directe correspond à l'état de l'art dans les installations modernes pour la collecte des émissions primaires. Elle peut également être appliquée aux autres équipements de la métallurgie secondaire.

Dans les systèmes de hotte (figure 9.6), une ou plusieurs hottes au-dessus du four captent indirectement les vapeurs s'échappant du four pendant le chargement, la fusion, l'écumage du laitier, et la coulée (jusqu'à 90 % des émissions primaires et aussi des émissions secondaires). Combinés avec des systèmes d'extraction directe, l'efficacité de captage des émissions primaires et aussi secondaires augmente jusqu'à 98 %. Ces hottes sont aussi installées pour capter les émissions provenant des équipements de la métallurgie secondaire, des trémies et des bandes transporteuses.

Les systèmes de confinement du four ou « dog-house » (figure 9.6), englobent la totalité du four, son couvercle amovible tout en laissant un espace de travail devant la porte du four. Typiquement, les gaz sont extraits près du sommet d'une des parois de confinement tandis que l'air entre par les ouvertures au niveau du sol. Ce type de captage présente certains inconvénients dont les principaux sont : des étapes de manutention plus complexes, causant des pertes de temps et des investissements parfois plus lourds (par exemple, mécanismes supplémentaires pour l'ouverture et la fermeture des portes, procédures pour remplir et vider le four). Un effet positif du confinement est la réduction du niveau de bruit, si la construction est appropriée. La diminution du bruit moyen sur un four à arc électrique confiné peut être de 10 à 20 dB(A). Ces confinements peuvent être appliqués à la métallurgie secondaire mais nécessitent un traitement des murs de l'atelier pour éviter la réverbération.

Une autre voie pour le captage des émissions secondaires du four ainsi que celles des installations amont et aval, est le confinement complet de toutes les installations dans une même enceinte. Cela peut être considéré schématiquement comme un confinement simplement plus important (concernant plus d'étapes du procédé).

La construction de telles enceintes et les installations nécessaires au dépoussiérage dans le but d'atteindre un dépoussiérage complet imposent des coûts considérables aux industriels. Pour cette raison, les coûts et les bénéfices doivent être évalués soigneusement pour chaque installation avant d'envisager cette option. Un effet positif de cette mesure est la réduction du niveau de bruit à l'extérieur. Habituellement la pression dans le bâtiment est au-dessous de la pression atmosphérique pour éviter l'échappement de fumées et poussières lors des ouvertures occasionnelles de la porte.

Principaux niveaux d'émission atteints

La combinaison de l'extraction directe des émanations et le système de hottes est souvent utilisée. Cette combinaison permet un captage de 98 % des émissions primaires. De plus, une part significative des émissions lors du chargement et de la coulée peut également être captée, bien que cela dépende du type et du nombre de hottes. Une combinaison du dispositif d'extraction directe et du confinement du four permet même des taux de captage de plus de 97 % à 100 % des émissions totales de poussières. Un confinement complet des installations permet un captage de presque 100 % des émissions.

Applicabilité

Applicable aux nouvelles comme aux anciennes installations.

Effets croisés

Le système de captage des émissions nécessite de l'énergie, plus particulièrement les ventilateurs.

Installations de référence

De nombreuses installations en Europe ont une combinaison d'extraction directe et de hottes.

Les installations allemandes suivantes sont équipées avec seulement un système de 'dog-house' ou avec une combinaison 'dog-house' et extraction directe (4^{ème} ou 2^{ème} trou) : Benteler AG à Lingen, Krupp Thyssen Nirosta à Bochum, Krupp Thyssen Nirosta à Krefeld, Mannesmannrohr GmbH à Bous/Saar, Moselstahlwerk Thüringen GmbH à Unterwellenborn.

Evacuation totale du bâtiment : ARES à Schiffflange (Suisse), ProfilARBED à Differdange et à Belval (Luxembourg).

Moteurs de la mise en œuvre

Les conditions légales.

Aspects économiques

Non disponibles.

9.3.2.2 EP2 : Post combustion efficace avec traitement avancé des gaz

Description :

L'optimisation du process du four à arc électrique (voir PI 1), et en particulier l'augmentation de l'utilisation de l'oxygène et des carburants, a augmenté la part de l'énergie chimique dans les gaz émis par le circuit primaire (CO et H₂). Dans le but d'utiliser cette énergie, des essais de post-combustion dans les aciéries électriques ont débuté dans le milieu des années 80 et des progrès significatifs ont été observés. La post-combustion dans le four est développée pour utiliser un maximum d'énergie chimique issue du CO dans le four et pour améliorer l'équilibre énergétique, mais le CO et le H₂ ne sont jamais complètement oxydés dans le four ; pour cette raison, on a besoin de la post-combustion. La post-combustion dans une chambre de combustion a pour objectif dans un premier temps la complète combustion du CO et du H₂ résiduels dans les gaz échappés afin d'éviter des réactions incontrôlables susceptibles de se dérouler dans les installations de traitement. Dans un second temps, cette post-combustion, quand elle est bien réglée, réduit les émissions des composants organiques. La chaleur produite par cette combustion est généralement non récupérée à moins que la récupération de l'eau de refroidissement ne soit possible. Aujourd'hui, l'optimisation de la chambre de post-combustion peut réduire les micro-polluants organiques, comme les PCB et PCDD/F. La figure 9.17 nous montre une installation équipée avec une chambre post-combustion. En raison de la synthèse de novo possible des dioxines, l'échangeur de chaleur est remplacé par un quench pour le refroidissement rapide des gaz émis.

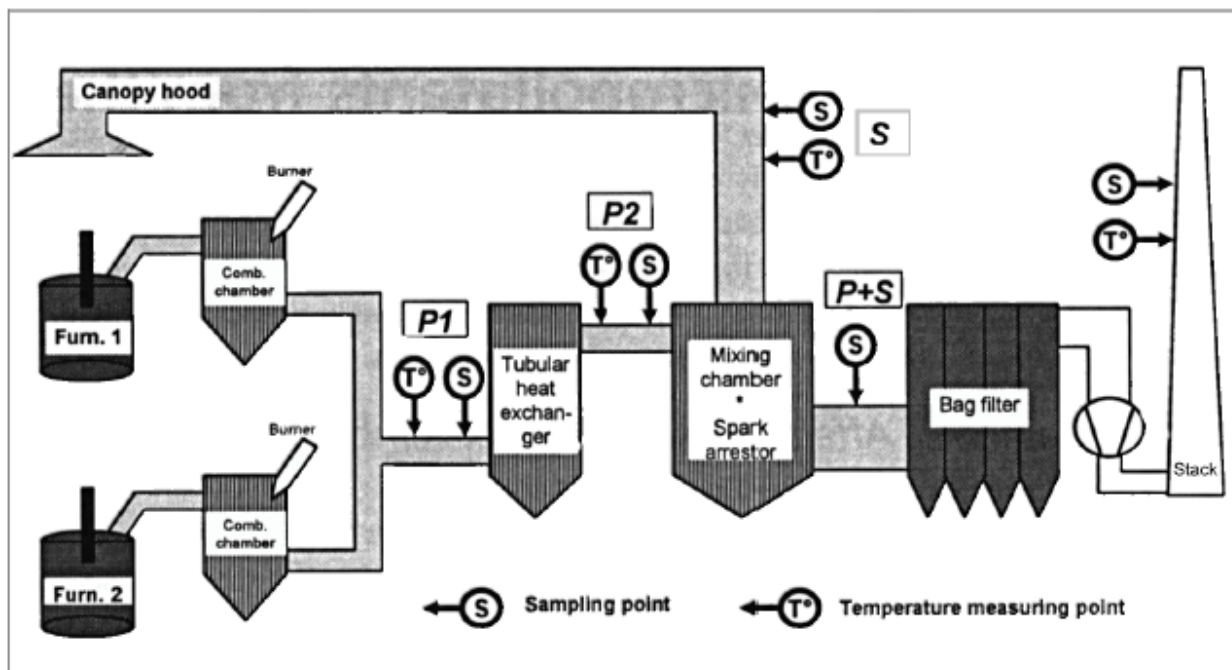


Figure 9.17 : Schéma de la disposition des systèmes de traitements des gaz primaires dans un four à arc électrique à double coquille

La post-combustion avec comme objectif supplémentaire de minimiser les micro-polluants organiques nécessite un temps de rétention, une turbulence et une température suffisantes (3T). Si une chambre de combustion séparée ne peut être installée, une post-combustion correcte peut également être effectuée dans le conduit d'émission des gaz (voir Figure 9.18).

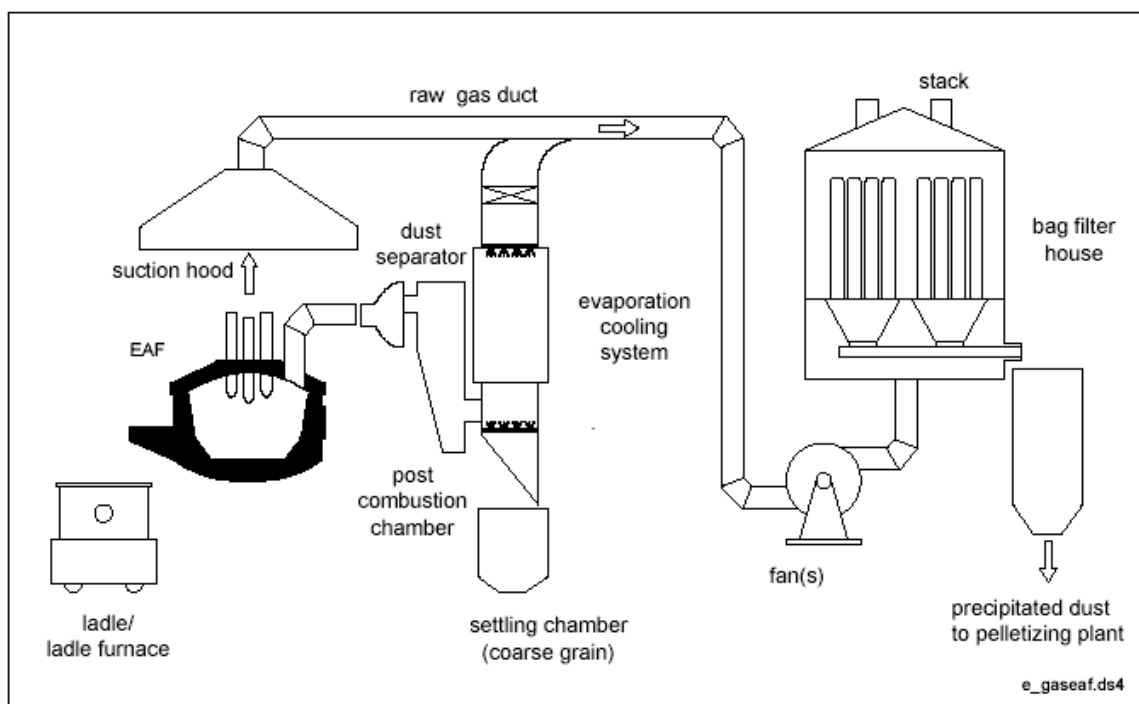


Figure 9.18 : Post-combustion des gaz primaires dans le système de conduits

Les développements récents ont vu des chambres de post-combustion séparées avec des brûleurs supplémentaires, ce qui permet de respecter les fameux 3T.

Pour éviter la synthèse novo des PCDD/F, il est nécessaire d'avoir un refroidisseur rapide des fumées avant la filtration réalisée par un filtre à manches. Dans certains cas, ceci est obtenu par dilution du circuit secondaire, dans d'autres cas, comme présenté dans la figure 9.17, la solution peut être une tour d'extinction.

Les principaux niveau d'émissions obtenus

Avec une post-combustion appropriée, suivie par un refroidissement rapide (dilution ou extinction à l'eau), on peut obtenir des émissions de PCDD/F inférieures à 0,5 ng I-TEQ/Nm³ (voir tableau 9.9).

Industrie	Four 1	Four 2	Four 3	Four 4
Quantité vidangée (t)	105	138	85/85	140
Alimentation d'énergie (MVA)	105	96	57/68	105

Captage des émissions	4 ^{ème} trou hotte		4 ^{ème} trou hotte			4 ^{ème} trou hotte		4 ^{ème} trou four 'confiné'			
Post-combustion (PC)	Chambre PC		Conduit PC			Chambre PC		Conduit PC			
Refroidisseur des gaz déchets	Injection d'eau		Traitement à l'eau des gaz déchets			pulvérisation (quenching)		Refroidissement par échangeur			
Technique de traitement des gaz	Filtre à manches		Précipitateur électrostatique			Filtre à manches (1 pour les 2)		2 filtres à manches pour le circuit 1aire et 2ndaire			
Concentrations des gaz*	M1**	M2	M1	M2	M3	M1	M2	M1	M2	M3	M4
Poussières gaz brut (1)	3398	14246	4200	12500	3600	-	-	-	-	-	-
Poussières gaz brut (2)	148	273	1 et 2 ensemble			-	-	-	-	-	-
Poussières gaz propre (1)	0.76	1.05	15	15	15	1.45	1.1	<1	<1	<1	<1
Poussières gaz propre (2)	Moyenne°		-	-	-	Moyenne°		<1	7	3	<1
PCDD/F (1)	-	-	-	-	-	-	-	0.252	0.201	0.240	0.810
PCDD/F (2)	-	-	-	-	-	-	-	0.027	0.01	0.023	0.057
PCDD/F (mix, 1 et 2)	0.016	0.021	0.01	0.02	0.01	0.13	0.1	0.087	0.061	0.081	0.259
* : les concentrations sont en mg/m3 pour les poussières et en ng/I-TEQ/Nm3 pour les dioxines ** : M _ : nombre de mesures réalisées dans l'usine (1) : concentrations après dispositif de dépoussiérage des gaz émis du circuit 1aire (2) : concentrations après dispositif de dépoussiérage des gaz émis du circuit 2ndaire ° : moyenne de deux mesures											

Tableau 9.9 : Performances de post-combustion sur 4 fours principaux allemands (1995)

Dans des chambres de post-combustion séparées avec des brûleurs supplémentaires, des concentrations d'émission de dioxines inférieures à 0.1 ng/I-TEQ/Nm3 sont réalisables mais il y a des problèmes dans la pratique pour atteindre ces niveaux d'émissions de manière constante. La réduction des dioxines peut être considérée comme un fil conducteur, et de cette manière il peut être envisageable de supprimer par la même occasion les autres micro-polluants organiques.

Mais il est à noter que les dioxines provenant des émissions secondaires (qui ne sont pas brûlées mais mélangées avec les émissions primaires) pourraient augmenter de manière significative la concentration totale de dioxines.

Applicabilité

En principe la post-combustion peut être appliquée aussi bien aux nouvelles installations qu'aux installations existantes mais pour les existantes, les contraintes locales (l'espace, le système d'éjection des gaz...) doivent avant tout être vérifiés.

Effets croisés

La post-combustion avec les brûleurs supplémentaires consomme des quantités considérables d'énergie (de l'ordre de 30 kWh/t) ou empêche la récupération de la chaleur. L'application d'une telle technique en combinant un préchauffage efficace des chutes pourrait permettre un équilibre entre la consommation et la récupération d'énergie.

Installations de référence

ProfilARBED à Differdange (Luxembourg), BSW à Kehl (Allemagne), Gerlafingen Stahl AG à Gerlafingen (Suisse).

Moteurs de la mise en œuvre

Le principal intérêt associé à cette technologie est la limitation des émissions de PCDD/F $< 0.5 \text{ ng/I-TEQ/Nm}^3$

Aspects économiques

L'unité de post-combustion chez ProfilARBED, L-Differdange, BSW, D-Kehl fonctionne sans aucun souci. Les coûts investis pour la tour de quenching sont de l'ordre de 1,2 millions d'euros. Il nous est plus difficile d'avoir plus de chiffre.

9.3.2.3 EP3 : Injection de poudre de coke de lignite pour le traitement des émissions gazeuses**Description**

Afin de réduire les micro-polluants organiques dans les rejets gazeux globaux (primaires et secondaires) et spécialement les dioxines et furannes, de la poudre de coke de lignite peut être ajoutée de manière dosée au conduit avant le filtre à manche. La quantité nécessaire de cette poudre est de l'ordre de 100mg de poudre /Nm³ de rejets gazeux. La poudre de coke de lignite est séparée dans la phase gazeuse dans les filtres à manches qui suivent. Des étincelles peuvent se produire et une attention toute particulière doit être prêtée principalement aux risques incendies par point chaud. Par contre le risque d'explosion est minime.

Moteurs de la mise en oeuvre

Les concentrations des émissions résiduelles de dioxines et furannes sont inférieures à 0.5 ng/I-TEQ/Nm³ en pratique, et certains seuils ont même été mesurés à 0.1 ng/I-TEQ/Nm³.

Applicabilité

Applicable aux nouvelles et anciennes installations

Effets croisés

La quantité d'énergie pour le rajout et le dosage de cette poudre de coke de lignite n'est pas considérable. Le coke de lignite se retrouve dans les poussières des filtres et les quantités de dioxines dans celles-ci augmentent sensiblement mais cela n'influe pas sur le recyclage des poussières.

Une attention particulière est à porter aux teneurs en carbone des poussières dans le filtre à manches qui contient en moyenne 3% de carbone, avec ponctuellement des teneurs qui peuvent atteindre 5 % qui constitue le seuil d'inflammabilité.

Installations de référence

Gerlafingen Stahl AG à Gerlafingen (Suisse), ARES à Schiffange (Luxembourg).

Aspects économiques

Les investissements nécessaires pour les rejets totaux émis (primaire et secondaire) d'une aciérie électrique produisant 1 million de tonnes d'acier /an est d'à peu près 300000 euros.

9.3.2.4 EP4 : Recyclage des laitiers des aciéries électriques

Description

Dans une aciérie électrique la quantité de laitier avoisine les 100-150 kg par tonne d'acier produit. Le laitier issu des fours peut être considéré comme une roche artificielle, similaire à une roche naturelle, contenant FeO, CaO, SiO₂ et d'autres oxydes (MgO, Al₂O₃, MnO). Les laitiers issus des fours sont caractérisés par leur grande résistance mécanique, leur bonne résistance à la chaleur et également leur grande résistance à l'abrasion. Ils ont aussi des propriétés qui les rendent utilisables dans le domaine de l'hydraulique. Un important critère d'utilisation des laitiers d'aciéries électriques est leur volume constant, qui dépend principalement de la présence de chaux libre.

La plupart des laitiers provenant de la fabrication de l'acier carbone ou faiblement allié est peu riche en chaux libre, et ils sont utilisés pour des applications variées : construction routière, remblayage, ingénierie hydraulique. Les facteurs déterminants pour leur utilisation sont des facteurs d'adaptation structurelle et d'acceptabilité environnementale. Si les conditions légales sont remplies pour les utiliser dans le secteur de la construction, les laitiers des fours devront être broyés, criblés et triés par taille pour leur futur utilisation. Les composés ferreux des laitiers sont séparés grâce à des séparateurs magnétiques. Les laitiers traités sont utilisés pour de nombreuses applications de construction, et ceci en fonction de leur

granulométrie. La figure 9.19 nous montre le processus d'une installation allemande de séparation du laitier. En 1994, 90% du laitier des fours électriques provenant de la production d'acier faiblement ou moyennement allié a été utilisé. Jusqu'à présent, l'utilisation de laitiers issus de la production d'acier de qualité supérieure est limitée. Après un traitement de préparation, ce type de laitier pourrait également être utilisé dans la construction routière.

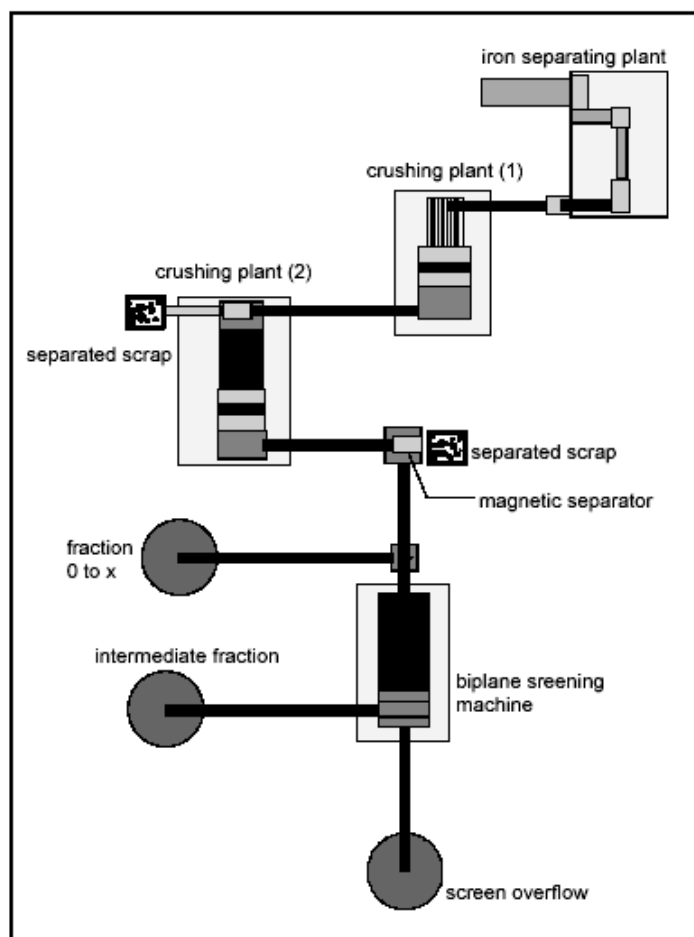


Figure 9.19 : Schéma du procédé de séparation du laitier dans une installation

L'utilisation du large spectre des laitiers issus de la métallurgie secondaire est limitée. La taille du grain et la constance des volumes ont été des facteurs décisifs pour l'utilisation de ce type de laitiers. Ils peuvent de temps en temps être utilisés pour le secteur de la construction. Mais une partie significative de ces laitiers doit être mise en décharge dans la mesure où il existe peu de solution pour la prévention, la réduction ou l'utilisation.

Principaux niveaux de performance

Les laitiers des fours principaux sont utilisés pour le secteur de la construction, notamment pour les aciéries produisant de l'acier faiblement ou moyennement allié.

Applicabilité

Installations nouvelles ou existantes.

Effets croisés

Le traitement des laitiers demande beaucoup d'énergie. Une attention particulière sera apportée aux vapeurs alcalines émises par laitiers contenant de la chaux libre.

Installations de référence

BSW à Kehl (Allemagne), Georgsmarienhütte GmbH à Georgsmarienhütte (Allemagne), Preussag Stahl AG à Peine (Allemagne), ARES à Schiffange (Luxembourg); ProfilARBED à Differdange (Luxembourg); ProfilARBED à Belval (Luxembourg).

Moteurs de la mise en œuvre

Les principaux éléments moteurs pour la mise en œuvre de cette technique sont l'espace limité pour la mise en décharge et les coûts associés aux taxes sur les mises en décharge de déchets.

Aspects économiques

Pas de données disponibles.

9.3.2.5 EP5 : Réutilisation des poussières des aciéries

Description

A peu près 10-20 kg de poussière par tonne d'acier produit sont séparés des gaz émis ; ce chiffre dépend du type d'acier produit par l'aciérie. Dans le cas d'un acier très faiblement allié, cette quantité de poussières peut aller jusqu'à 25 kg/t.

Les poussières séparées obtenues par les équipements d'épuration des gaz contiennent une part significative de métaux lourds (voir tableau 9.6). Ces éléments sont toxiques et nécessitent beaucoup d'attention surtout lorsqu'il s'agira de mettre la poussière en décharge.

Généralement, il y a différentes options pour le traitement de ces poussières issues du four à arc, qui peuvent être classées en 3 catégories :

- stabilisation ou vitrification chimique (ne peut pas être considérée comme une option appropriée parce que d'autres options plus raisonnables pour le devenir des poussières existent)

- réutilisation des poussières en les réutilisant dans le four
- processus hydrométallurgique et pyrométallurgique pour la récupération du zinc ou d'autres métaux lourds.

Ces différentes options sont souhaitables à différents degrés selon leur potentiel à satisfaire l'objectif principal qu'est la prévention et le contrôle des pollutions environnementales. L'utilisation du fer et d'autres métaux lourds contenus dans les poussières est souvent préférable à la mise en décharge de ces poussières.

Réutilisation des poussières précipitées

La réutilisation des poussières précipitées issues du four pour l'enrichissement du zinc en les renvoyant dans le four a des impacts sur le processus de fabrication de l'acier. D'une part, le recyclage baisse le taux volumique de poussières à éliminer, augmente la présence de zinc (de 30 à 40%) et de fer dans les poussières. D'autre part le recyclage des poussières réduit probablement l'efficacité du four et augmente la consommation d'électricité (approximativement de 20-30 kwh/t). Techniquement, la réutilisation des poussières est limitée à une certaine part du ratio de production totale des poussières, dépendant des équipements de chaque aciérie. Ainsi, la méthode d'ajout des poussières aux fours affecte la performance de ce dernier. Pour améliorer le rendement du four, des pré-traitements d'agglomération des poussières, comme la pelletisation ou le briquetage, sont souvent utilisés car ils réduisent la part des poussières qui sont soufflées à travers le four. D'après des études, le zinc contenu dans les poussières et la poussière chargeant le filtre peuvent varier, ceci en fonction du taux de poussières soufflées à travers le four, entre 27 et 32%. Par exemple, une aciérie allemande, qui produit 20-22 kg de poussières/t d'acier, en recycle 75% et doit finalement faire attention à ne recycler qu'à 50% les poussières qui contiennent en moyenne 35% de zinc. Généralement, la poussière est ajoutée au début de chaque phase de fusion. En principe, la faisabilité du recyclage des poussières dépend de nombreux facteurs, qui peuvent varier entre aciéries.

Récupération du zinc et élimination des métaux lourds

Les procédés de récupération du zinc et de récupération ou d'élimination d'autres métaux lourds sont des options adaptées pour mettre en valeur des ressources valorisables qui ont déjà été extraites de mines et ont fait l'objet d'au moins un traitement. La pyrométallurgie et l'hydrométallurgie sont d'ores et déjà mises en œuvre pour la récupération du zinc. Pour les poussières d'aciéries produisant de l'acier carbone ou faiblement allié, différentes techniques existent, comme le procédé de Waelz (le plus connu) ou le procédé d'ESINEX.

Pour les poussières issues d'acier fortement allié, d'autres types de valorisation existent également.

Principaux niveaux d'émissions atteints

La réutilisation en quantité des poussières est un objectif qui peut être atteint.

Applicabilité

Installations nouvelles ou déjà existantes

Effets croisés

Le transport de ces poussières et la revalorisation nécessite un apport d'énergie supplémentaire. Dans le cas de la pelletisation des poussières, un rejet supplémentaire de poussière n'est pas à exclure.

Installations de référence

Geormarienhutte GmB à Geormarienhutte (Allemagne). La majeure partie des installations européennes de revalorisation des poussières sont externes aux aciéries.

Moteurs de la mise en œuvre

Les principaux moteurs pour le développement de ces techniques sont les suivants : capacités limitées des décharges, niveaux d'exigence élevés pour la mise en décharge et aspects économiques tels que les coûts de la mise en décharge.

Aspects économiques

Pas de données disponibles

9.4 Conclusions

Dans le but de comprendre ce chapitre et son contenu l'attention du lecteur est attirée à la préface de ce document et en particulier à la cinquième section de cette préface : « Comment comprendre et utiliser ce document ». Les techniques et les émissions associées et/ou les niveaux de consommation, ou les gammes de niveaux, présentées dans ce chapitre ont été évaluées à partir d'un procédé itératif impliquant les étapes suivantes :

- identification des questions clés environnementales pour le secteur (pour la fabrication de l'acier dans les fours à arc électrique, ce sont les poussières, les composés organochlorés, l'efficacité énergétique et le recyclage des déchets ;
- Examen des techniques les plus pertinentes pour traiter de ces questions clés ;
- Identification des meilleurs niveaux de performance pour l'environnement, sur la base de données disponible en Europe et dans le monde entier ;
- Examen des conditions dans lesquelles ces niveaux de performance sont atteints, comme les coûts, les effets croisés, les éléments moteurs qui favorisent la mise en oeuvre de ces techniques
- Sélection des meilleures techniques disponibles (MTD) et des niveaux d'émissions et de consommation associés pour le secteur concerné selon l'article 2(11) et l'annexe IV de la directive.

Le jugement expert du Bureau Européen de l'IPPC et le groupe de travail technique concerné ont joué un rôle clé dans chaque étape et dans la manière dont laquelle les informations sont présentées ici.

Sur la base de cette évaluation, les techniques, et autant que possible les niveaux de concentration et de consommation associés à l'utilisation des MTD sont présentés dans ce chapitre comme étant appropriés au secteur dans son ensemble, et dans de nombreux cas reflètent la réalisation de quelques installations au sein du secteur. Quand les niveaux d'émissions et de consommation associés aux MTD sont présentés, ils doivent être interprétés comme des niveaux qui représentent la performance environnementale qui peut être anticipée comme le résultat de l'application, dans ce secteur, des techniques décrites, tout en gardant à l'esprit l'équilibre coûts / avantages inhérent à la définition des MTD. Cependant, il n'y a ni valeurs limites d'émission, ni valeur limite de consommation et les valeurs données ne doivent pas être interprétées de la sorte. Dans certains cas, il peut être possible d'atteindre des meilleurs niveaux d'émission ou de consommation, mais compte tenu des coûts engendrés ou des effets croisés, ils ne sont pas considérés comme MTD pour le secteur dans son ensemble.

Les niveaux de consommation et d'émission associés à l'utilisation des MTD doivent être considérés dans les conditions spécifiques dans lesquels ils ont été établis(e.g. calcul sur des périodes moyennes).

Le concept 'niveaux associés aux MTD' décrit ci-dessus doit être distingué du terme 'niveaux atteignables' utilisé par ailleurs dans ce document. Quand un niveau est décrit comme atteignable en utilisant une technique particulière ou une combinaison de techniques, cela doit être compris comme le niveau que l'on peut prévoir d'atteindre sur une période notable de temps avec une installation correctement entretenue et exploitée.

Quand elles sont disponibles, les données concernant les coûts ont été données avec la description des techniques présentées au chapitre précédent. Ces chiffres donnent une indication approximative de l'ampleur des coûts engendrés. Cependant, les coûts actuels d'application d'une technique vont fortement dépendre de la situation spécifique en considérant par exemple, les taxes, les frais, et les caractéristiques techniques de l'installation concernée. Il n'est pas possible d'évaluer complètement des facteurs spécifiques à des sites dans ce document. En l'absence de données concernant les coûts, les conclusions concernant la viabilité économique des techniques sont issues de l'observation des installations existantes.

Il est prévu que les MTD générales de ce chapitre seront utilisées pour juger des performances d'une installation existante ou pour juger une proposition pour une nouvelle installation et de ce fait, aider à la détermination des MTD appropriées pour cette installation. Il est prévu que des nouvelles installations peuvent être conçues pour atteindre ou dépasser les niveaux associés aux MTD présentés ici. On peut également considérer que de nombreuses installations existantes peuvent raisonnablement espérer, à la longue, aller vers les niveaux généraux des MTD ou faire mieux.

Dans les aciéries électriques et la coulée, les techniques ou combinaisons de techniques suivantes sont considérées comme MTD. L'ordre de priorité et la sélection des techniques vont différer d'une installation à l'autre en fonction des circonstances locales. D'autres techniques ou combinaisons de techniques permettant d'atteindre des performances ou une efficacité égale ou meilleures peuvent être également prises en compte ; de telles techniques peuvent être encore en développement, ou des techniques émergentes ou des techniques déjà disponibles mais non mentionnées dans ce document.

1) Efficacité du captage de poussières[AG32]

- par une combinaison d'extraction directe des effluents gazeux (4ème ou 2ème trou) et de systèmes de couvercle, ou
- de systèmes de confinement (dog house) et de hottes, ou
- d'évacuation totale du bâtiment,

Une efficacité de captage de 98% (et au-delà) des émissions primaires et secondaires des fours à arc électrique est réalisable.

2) Dépoussiérage des gaz résiduels par :

- des filtres à manches bien conçus autorisant moins de 5 mg de poussière par Nm³ pour les nouvelles installations et moins de 15mg par Nm³ pour les installations existantes (valeur moyenne journalière pour les deux).

La minimisation de la teneur en poussières va de pair avec celle des émissions de métaux lourds, sauf pour les métaux lourds présents dans la phase gazeuse, comme le mercure.

3) Minimisation des composés organochlorés (spécialement des émissions de PCDD/F et de PCB), par :

- postcombustion appropriée à l'intérieur des conduits des effluents gazeux ou dans une chambre de postcombustion séparée, suivie d'un refroidissement rapide par quenching afin d'éviter une synthèse de novo, et/ou

- injection de poudre de coke lignite dans le conduit, en amont des filtres à manches.

Des concentrations de PCDD/F de 0,1 à 0,5 ng I-TEQ/Nm³ dans les rejets sont réalisables.

4) Préchauffage des ferrailles (combiné avec le point c) afin de récupérer la chaleur sensible contenue dans les effluents gazeux primaires

- Le préchauffage d'une partie des ferrailles permet d'économiser environ 60 kWh/t et celui de la totalité des ferrailles jusqu'à 100 kWh/t d'acier liquide. L'applicabilité du préchauffage des ferrailles dépend des circonstances locales et doit être prouvée installation par installation. Le préchauffage des ferrailles peut entraîner un rejet accru de polluants organiques auquel il faut rester attentif.

5) Minimisation des déchets et sous-produits solides

En ce qui concerne les déchets solides, les techniques suivantes sont considérées comme MTD par ordre de priorité décroissant :

- minimisation de la production de déchets
- minimisation des déchets par recyclage des laitiers de fours à arc électrique et des poussières de filtration; selon les circonstances locales, les poussières de filtration peuvent être renvoyées vers le four à arc afin de parvenir à un enrichissement en zinc pouvant atteindre 30%. Les poussières de filtration à plus de 20% de zinc sont utilisables dans l'industrie des métaux non ferreux.
- les poussières de filtration résultant de la production d'aciers hautement alliés peuvent être traitées pour récupérer des métaux d'alliage.
- en ce qui concerne les déchets solides inévitables ou impossibles à recycler, il convient d'abaisser les quantités produites. En cas d'obstacle à cet abaissement et/ou réemploi, la mise en décharge contrôlée est la seule option.

6) Rejets dans l'eau

- Refroidissement des équipements du four par des circuits d'eau fermés.
- Eaux résiduelles de coulée continue :
 - Recyclage des eaux de refroidissement autant que possible
 - Précipitation/sédimentation des matières en suspension
 - Déshuilage dans des cuves d'écumage ou autre dispositif d'égale efficacité.

En principe, les techniques mentionnées aux points « 1 » à « 6 » sont applicables tant aux anciennes qu'aux nouvelles installations.

10 NOUVELLES TECHNIQUES ALTERNATIVES DE PRODUCTION DE FER

10.1 Introduction

Si la production du fer dans les hauts fourneaux existe depuis plus de 500 ans, au cours desquels les hauts fourneaux ont eu tout le temps d'évoluer jusqu'à devenir des réacteurs performants, l'arrivée sur le marché de nouvelles techniques représente un défi pour la production de fonte brute en hauts fourneaux.

Ces derniers nécessitent en effet du coke, mais on sait que les cokeries sont chères et que leur utilisation n'est pas sans effets sur l'environnement. Il serait donc avantageux d'un point de vue économique de réussir à produire du minerai de fer sans utiliser de coke. La majorité des hauts fourneaux ont nettement d'ores et déjà réduit leur production de coke grâce à l'injection d'agents réducteurs dans les tuyères. Il est cependant impossible de faire l'économie du renfort qu'apporte le coke au lit de fusion. La quantité minimale de coke utilisée par haut fourneau est de 200 kg/t de fonte brute.

L'exploitation n'est efficace des points de vue énergétique et économique qu'avec des hauts fourneaux de taille importante, à la production importante et régulière. Les investissements requis sont donc élevés et la flexibilité faible. Il est devenu nécessaire pour répondre aux besoins des clients de parvenir à une production plus flexible dans des unités de plus petite taille.

La production d'acier à partir de ferraille dans des fours à arc, procédé consommant bien moins d'énergie que la production à partir de minerai de fer, est en progression., mais les problèmes liés à la qualité de l'acier issu de ferraille constituent une contrainte. L'utilisation de charges à base de fer préréduit (DRI) permet d'augmenter les possibilités offertes par la sidérurgie électrique.

Pour résumer, voici les aspects qui expliquent la pression subie par le procédé de production d'acier en haut fourneau :

- effets sur l'environnement des installations d'agglomération,
- effets sur l'environnement et le coût des cokeries,
- manque relatif de flexibilité de la production de fonte brute,
- compétition croissante avec l'aciérie électrique incorporant de la ferraille ou du fer préréduit.

Toutefois, les avantages du haut fourneau en matière de recyclage et de coûts d'investissement sont indéniables.

C'est ce qui a entraîné une amélioration des techniques de haut fourneau sur les plans du respect de l'environnement et des coûts de fonctionnement, ainsi que le développement de méthodes alternatives de production du fer.

Voici les deux principales techniques alternatives de production de fer, dont on peut considérer qu'elles ont fait leurs preuves :

1. Réduction directe

La réduction directe consiste à produire du fer. Le produit solide obtenu est appelé fer préréduit (DRI) et sert principalement de charge dans les fours à arc. La réduction directe est commercialisée depuis les années 1970 et le procédé se décline maintenant sous plusieurs formes.

2. Réduction par fusion

Ce procédé implique de réduire le minerai de fer tout en le faisant fondre (voir haut fourneau) dans un réacteur sans utilisation de coke. Il se produit de la fonte brute liquide, qui peut ensuite subir un traitement et un affinage de la même façon que la fonte brute issue des hauts fourneaux. De nos jours, une seule forme de réduction par fusion a été testée avec succès, mais un certain nombre de variantes en sont à un stade de développement avancé.

Parallèlement aux progrès effectués dans le domaine de la fabrication de fer, la tendance va vers des procédés continus plutôt que discontinus. Le passage de la coulée en lingotière à la coulée continue dans les années 1980 constitue une bonne illustration de cette tendance. À l'avenir, la fabrication continue de l'acier (par exemple avec convertisseur Linz-Donawitz ou four à arc) remplacera probablement les procédés discontinus. La Figure 10.1 fournit un aperçu des méthodes passées, présentes et futures de fabrication de l'acier et du fer.

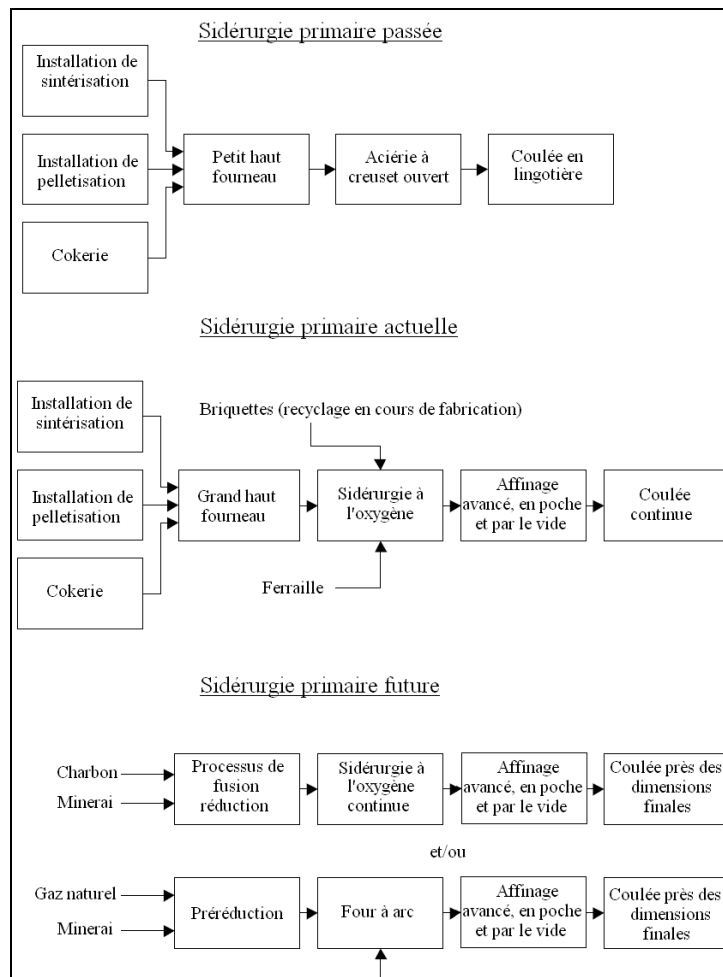


Figure 10.1 : Techniques de production du fer passées, actuelles et alternatives dans le monde – source [Freuhan, 1993]

10.2 Réduction directe

10.2.1 Généralités

Si le concept de réduction directe du fer remonte à plus de 45 ans, les premières installations commerciales ayant eu recours à ce procédé datent des années 1960. Étant donné que les principales méthodes de réduction directe nécessitent une source de gaz naturel bon marché, la plupart des installations sont situées dans la bande équatoriale, riche en gaz et en pétrole. Pour l'instant, la réduction directe n'a pas encore connu de succès significatif. En 1996/97, environ 36,5 millions de tonnes de fer préréduit ont été produites. Cela représente 4,4 % de la production mondiale de fonte brute.

La réduction directe nécessite la réduction du minerai de fer en fer métallique à l'état solide. Les températures impliquées sont donc inférieures à 1 000 °C. Un solide du nom de fer préréduit (DRI) est produit. Son taux de métallisation est supérieur à 92 % et sa teneur en carbone inférieure à 2 %. Le fer préréduit sert habituellement de charge dans les fours à arc. Cette méthode a pour désavantage de présenter des risques d'incendie. Toutefois, quand le fer préréduit doit être stocké ou transporté sur une certaine distance, il peut être fondu pour en faire des briquettes, ou fer aggloméré à chaud (HBI).

10.2.2 Processus disponibles

Plusieurs méthodes de production de fer préréduit ont été employées au cours des 50 années écoulées, les trois principales étant MIDREX, HyL (I, II et III) et FIOR. Ce n'est que récemment que cinq autres techniques ont été mises au point : FASTMET, CARBURE DE FER, CIRCORED, INMETCO et FINMET.

Environ 92 % du fer préréduit est produit en utilisant du gaz naturel (réformé) comme carburant. Un nombre limité d'installations ont recours au charbon comme carburant. Les processus ayant recours à un four à cuve (MIDREX, HyL) utilisent comme charge des pellets de minerai de fer et du minerai en morceaux, alors que les méthodes reposant sur un lit fluidisé (CIRCORED, FINMET, CARBURE DE FER) ou un four à sole tournante (FASTMET, INMETCO) préfèrent les fines et les concentrés.

Le four à cuve s'est transformé en réacteur à réduction, utilisé pour les processus à base de gaz, dont les deux principaux sont : MIDREX (22,9 Mt/an en 1997) et HyL III (6,9 Mt/an). L'unité FIOR vénézuélienne, relativement petite (0,4 Mt/an) utilise un lit fluidisé pour la réduction du minerai de fer. Les procédés HyL I and HyL II utilisent des réacteurs à fonctionnement discontinu pour réduire le minerai de fer. Toutefois, ces procédés seront très certainement bientôt remplacés par HyL III. Une installation pilote FASTMET a été mise en service au Venezuela en 1995 [Nagai, 1995] et deux installations FINMET d'une capacité de 2 Mt/an chacune sont en cours de construction en Australie et au Venezuela. Une installation CIRCORED d'une capacité de 0,5 Mt/an a été mise en service à Trinidad.

Le carbure de fer (Fe_3C) est une solution de rechange au fer préréduit. Il est également produit par réduction directe, mais le procédé fournit un produit contenant environ 90 % en masse de Fe_3C . Sa teneur en carbone est relativement élevée (6 % de la masse), ce qui permet d'obtenir suffisamment d'énergie pour que la consommation d'électricité du four à arc diminue. Le carbure de fer peut être employé pour les mêmes applications que le fer préréduit. La première installation commerciale de réduction directe du fer, d'une capacité de 300 000 tonnes par an, a été mise en service en 1995 à Trinidad. Sa production réelle en 1998 est de 150 000 t/an.

Le Tableau 10.1 fournit un résumé des méthodes de réduction directe du fer commercialisées.

Processus	MIDREX	HyL III	Carbure de fer	FASTMET/ INMETCO	FINMET	CIRCORED
Statut :	Commercialisé	Commercialisé	Commercialisé	Commercialisé	Commercialisé*1	Commercialisé*1
Type de réacteur	Cuve	Cuve	Lit fluidisé	Sole tournante	Fluid bed	Lit fluidisé
Source de fer	Pellet/ Lump ore	Pellet/ Lump ore	Fines : 0,1-1 mm	Fines/ Concentrés	Fines/ 0,1-12 mm	Fines 0,1-1,0 mm
Type de combustible	Gaz naturel	Gaz naturel	Gaz naturel	Charbon/gaz naturel	Gaz naturel	Gaz naturel
Utilités	-	Vapeur	Vapeur	-	Vapeur	Vapeur
Installations périphériques	Reformeur	Reformeur Élimination du CO ₂	Reformeur	-	Reformeur Élimination du CO ₂	Reformeur Élimination du CO ₂
Capacité d'installation (kt/an)	type 1000	1000	320	450	500	500
Énergie entrée (GJ/t produit)	10,5	11,3	12,6	12,6	12,5	14
Produits métallisation du produit (%)	DRI/HBI >92	DRI >92	poudre de Fe ₃ C Fe ₃ C >90%	DRI/HBI >92	HBI >92	HBI >92
teneur en C-du produit (%)	1-2	1-2	<6,0	<0,2	0,5-1,5	0

*1 en cours de construction (Statut : fin 1989)

Tableau 10.1 : Caractéristiques des processus de réduction directe – source [Nagai, 1995]

La réduction directe est adaptée aux situations suivantes :

- Il y a pénurie de ferraille de bonne qualité, ce qui aboutit à une détérioration de la qualité de l'acier produit, et rend l'addition de fer réduit nécessaire, afin d'améliorer la qualité des matières premières ;
- Il s'agit d'une mini-acierie construite dans une région dans laquelle il est difficile de se procurer des sources de fer telles les ferrailles, ou la production d'une aciérie intégrée comportant un haut fourneau n'est pas nécessaire du point de vue de la demande. Dans ce cas, le fer réduit peut être utilisé comme matière première principale [Nagai, 1995] ;
- La capacité de production de fonte du haut fourneau doit être augmentée.

10.2.3 Effets sur l'environnement de la réduction directe

Le principal avantage d'une installation de réduction directe sur un haut fourneau est l'utilisation de gaz naturel ou de charbon comme carburant, ce qui rend la présence d'une cokerie inutile et réduit nettement les émissions. L'impact sur l'environnement de l'installation de réduction directe elle-même est très limité. Les émissions de poussières sont faibles et leur captage aisé. Les besoins en eau sont peu importants et elle peut en grande partie être recyclée. De plus, une unité de réduction directe fonctionnant au méthane produit bien moins de CO₂ qu'une installation qui fonctionne au charbon.

Toutefois, du fait de sa gangue (entre 3 et 6 %), la consommation d'énergie dans le four à arc s'élève à mesure que la charge de fer préréduit augmente [Nagai, 1995]. Aucune donnée d'émission détaillée n'est disponible.

10.3 Réduction par fusion (SR)

10.3.1 Généralités

La réduction par fusion produit de la fonte brute liquide ou (dans certains cas) de l'acier brut liquide. Plus que la réduction directe, la réduction par fusion peut être considérée comme un concurrent direct du haut fourneau traditionnel. Par rapport à ce dernier, la réduction par fusion a plusieurs avantages qui pourraient faire d'elle le principal procédé de production de fonte brute à l'avenir. En voici quelques-uns :

- unités de production plus petites, donc plus de flexibilité,
- moins de restrictions sur les matières premières employées,
- utilisation de charbon et de carburant, pas de cokeries nécessaires,
- investissements requis moins élevés.

Ses inconvénients sont :

- aucune possibilité d'utilisation de fines de minerai, des besoins en énergie et des émissions de CO₂ accrus,
- une forte dépendance économique à l'énergie d'importation.

Les caractéristiques économiques et possibilités de cette méthode sont encore mal connues ; seul un procédé de réduction par fusion a été commercialisé avec succès.

Bien d'autres sont en cours de développement mais un seul est exploité commercialement à l'heure actuelle : Corex. Les différents procédés de réaction par fusion diffèrent par le nombre de réacteurs, la quantité de gaz calorifique produite et la charge de minerai (pellets, minerai en morceaux ou fines). Les variantes du processus les plus avancées (Corex, HIs melt, DIOS, AISI-DOE/CCF et ROMELT) feront l'objet d'un développement particulier dans ce chapitre.

10.3.2 Corex

Description : Le processus Corex comporte deux étapes : Au cours de la première, du minerai de fer est réduit en éponge de fer dans un four à cuve au moyen d'un gaz réducteur. Au cours de la seconde, le fer réduit est fondu dans la cuve de fusion-gazéification. Le gaz réducteur utilisé dans la cuve de réduction (CO et H₂) provient de la gazéification du charbon à l'oxygène, qui a pour effet de former un lit fluidisé/fixe dans le dispositif de fusion-gazéification. La combustion partielle du charbon dans la cuve de fusion-gazéification produit la chaleur qui permet de faire fondre le fer réduit. Le fer liquide et le laitier sont évacués par le bas, au moyen d'une procédure de coulée ressemblant à celle ayant lieu dans les hauts fourneaux.

La séparation de la réduction du fer et de la fonte du fer/la gazéification du charbon en deux étapes permet d'atteindre un haut degré de flexibilité et d'employer une grande variété de charbons. Ce processus est fait

pour fonctionner à des pressions élevées, pouvant aller jusqu'à 5 bar. L'enfournement du charbon et du minerai de fer se fait par un système de sas à charbon.

Le gaz réducteur contient environ 65 à 70 % de CO, 20 à 25 % de H₂ et 2 à 4% de CO₂. A sa sortie du dispositif de fusion-gazéification, le gaz chaud est mélangé à du gaz de refroidissement pour ajuster sa température à environ 850°C. Il est ensuite nettoyé dans des cyclones chauds et vient alimenter le four à cuve en gaz réducteur. A sa sortie du four à cuve, sa valeur calorifique est encore relativement élevée et il est possible de l'exporter s'il existe des opportunités en ce sens. Sa valeur calorifique, estimée à 7,5 MJ/Nm³ en cas d'utilisation de charbon vapeur classique (28,5 % de matière volatile), peut varier en fonction du type de charbon utilisé.

Installations de référence : Les équipements Corex sont mis au point et fabriqués par la société autrichienne Voest-Alpine Industrieanlagenbau (VAI), Linz (Autriche). Il s'agit à l'heure actuelle de la seule méthode de réduction par fusion ayant fait ses preuves. Les installations suivantes ont été mises en service :

1989 ISCOR Pretoria Works, Afrique du Sud (300 000 tonnes par an) ;

1996 POSCO Pohang Works, Corée (750 000 tonnes par an).

Les installations Corex suivantes sont actuellement en cours de construction :

- SALDANHA, Afrique du Sud (600 000 t/an)
- JINDAL, Inde (2 x 800 000 t/an)
- HANBO, Corée (2 x 750 000 t/an)

Données opérationnelles : La première unité commerciale Corex a commencé à produire de la fonte fin 1989 dans l'aciérie ISCOR de Pretoria en Afrique du Sud. Du fait de la situation économique, ISCOR a décidé de fermer son installation de Pretoria fin 1997 et de faire de son installation Corex une unité de production sidérurgique autonome permettant de livrer de la fonte brute sur le marché intérieur et à l'international. L'installation Corex a dû fermer provisoirement ses portes récemment du fait d'un changement brutal de la conjoncture économique sud-africaine sous l'influence de la crise asiatique.

Fin 1995, l'exploitation de la deuxième installation Corex a été lancée dans l'aciérie POSCO de Pohang en Corée. Cette installation, qui a une capacité nominale de 700 000 tonnes par an, fonctionne actuellement avec un mélange de minerai en morceaux et de pellets. Sa production annuelle dépasse sa capacité nominale.

Principaux niveaux d'émission atteints :

Le processus Corex utilise le charbon en tant que source d'énergie, ce qui permet d'éviter les émissions de cokerie. Tous les hydrocarbures supérieurs libérés par le charbon sont craqués en CO et en H₂ dans le dispositif de fusion-gazéification. Il n'y a donc pas production de sous-produits de type goudron, phénol, HAP etc.

Le soufre enfourné avec le charbon est en grande partie absorbé dans le four à cuve par le fer préréduit et les additifs calcinés, et alimente donc le dispositif de fusion-gazéification. Il est alors en grande partie transféré dans le laitier liquide (comme c'est le cas avec le haut fourneau) et ne pose plus de problème pour l'environnement. Avec le procédé Corex, la quantité de soufre rejetée dans le gaz et l'eau (entre 2 et

3 % de la quantité totale de soufre en entrée), est bien plus faible que pour le procédé classique avec four à coke/installation d'agglomération/haut fourneau (entre 20 et 30 %). Le gaz exporté contient entre 10 et 70 ppmv de H_2S en fonction du type de charbon utilisé et des conditions d'exploitation. Comme c'est de l'oxygène (O_2) et pas de l'air qui est utilisé pour la gazéification du résidu charbonneux, aucune formation significative d'oxyde d'azote (NO_x) et de Cyanure (CN) n'est à observer. L'utilisation d'oxygène, indispensable, entraîne des besoins importants d'énergie additionnelle.

Les émissions de poussière de l'installation Corex sont nettement moins importantes que celles des installations classiques. Toutes les émissions de poussières du four à coke sont évitées. La teneur en poussière du gaz exporté est inférieure à 5 mg/Nm^3 et la majeure partie de la poussière capturée dans le système de nettoyage du gaz est recyclée dans le processus.

Le Tableau 10.2 fournit quelques informations sur les performances de l'installation Iscor.

	Unité	Utilisation de minerai en morceaux	Utilisation de pellets
Capacité de coulée	t de fonte/heure	45	53
Capacité de coulée spécifique	t de fonte/m ³ par jour	3,0	3,4
Consommation de charbon	kg/t de fonte	1080	1 000
consommation C _{fix}	kg/t de fonte	615	570
consommation de O ₂	Nm ³ /t de fonte	540	500
Quantité de laitier	kg/t de fonte	450	300
Composition de la fonte			
Carbone	%	4,5	4,5
Silicium	%	0,3	0,3
Soufre	%	0,05	0,05
Phosphore	%	0,15	0,15
Gaz d'export.			
Quantité	Nm ³ /t de fonte	1 750	1 710
Valeur calorifique nette	MJ/t de fonte	7,5	7,5
Composition			
CO	%	45	45
CO ₂	%	32	32
H ₂	%	16	16
Poussières	mg/Nm ³	<5	<5
Émissions			
Poussières	g/t de fonte	39-139	39-139
SO ₂	g/t de fonte	26-333	26-333
NO _x	g/t de fonte	21-33	21-33
Consommation d'énergie	GJ/t de fonte	17	17

Tableau 10.2 : Performances de l'installation COREX d'IscorPretoria Works en Afrique Du Sud – source [Kreulitsch, 1994 ; Lemperle, 1993]

Effets croisés : Le gaz réducteur provenant du dispositif de fusion-gazéification est nettoyé dans les cyclones. La poussière provenant des cyclones peut être recyclée dans le dispositif de fusion-gazéification. Le nettoyage des gaz de gueulard provenant du four à cuve et des gaz de refroidissement (servant à refroidir le gaz réducteur) dans les épurateurs-laveurs produit une boue, qui peut en grande partie être recyclée dans le dispositif de fusion-gazéification après granulation ou livrée aux cimenteries. Une petite quantité (non spécifiée) peut être éliminée.

La consommation de charbon du procédé Corex est importante, de même que le débit d'effluents gazeux (de valeur calorifique moyenne) qu'il engendre. Le rendement énergétique du processus dépend largement de l'utilisation de ces effluents gazeux en tant que sources d'énergie. L'eau de refroidissement est fournie en circuit fermé.

Aspects économiques : Les coûts d'installation sont de 195 ECU₁₉₉₆/t de fonte.

Documents de référence : [Freuhan, 1994 ; Kreulitsch, 1994 ; Lemperle, 1993]

10.3.3 En cours de développement.

Les procédés de réduction par fusion décrits brièvement dans le paragraphe suivant en sont à un stade de développement avancé :

- HIsmelt ;
- DIOS ;
- AISI-DOE/CCF ;
- ROMELT.

Le Tableau 10.3 présente les caractéristiques principales de ces procédés, qui seront décrits brièvement dans les pages qui suivent.

Processus	HIsmelt (Australie)	DIOS (Japon)	AISI-DOE/CCF (Etats-Unis/Pays-Bas)	ROMELT (Russie)
Composants principaux	Coulée verticale Réduction	- lit fluidisé de réduction directe, - Four de réforme du gaz - Four de réduction par fusion., - Installation à l'oxygène,	- four de conversion à cyclone, - convertisseur à coulée en bain - Installation à l'oxygène,	- Four de fusion à bain
Charge	Fines	Fines	Fines	Fines/oxydes résiduels
Combustible	Charbon pulvérisé	Fines de charbon /charbon en grains	Fines de charbon	Fines de charbon
Produit métallique	Fer liquide	Fer liquide	Fer liquide	Fer liquide
Consommation d'oxygène (Nm ³ /t de fonte)	Utilise vent chaud	500	430-680	750-850
Consommation totale de charbon* (kg/t de fonte)	630-700	950	700-750	900-1200
Effluents gazeux				
Consommation d'oxygène (Nm ³ /t de fonte)	1850	2080	n.d.	n.d.
Cal. Valeur (MJ/Nm ³)	1,44	3,74	n.d.	n.d.
Consommation nette d'énergie (GJ/t de fonte)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Énergie en sortie	2,7	7,8	4,0	n.d.

(GJ/t de fonte)

Statut :	Pilote	Pilote	Pilote	Pilote
----------	--------	--------	--------	--------

Tableau 10.3 : Caractéristiques des procédés de réduction par fusion en cours de développement – source [Freuhan, 1994 ; Nagai, 1995]

Hismelt

Description : Le minerai est broyé et préchauffé avant d'être injecté dans le convertisseur vertical à réduction par fusion, où le minerai de fer préréduit est réduit et fondu. Le procédé Hismelt, contrairement à beaucoup d'autres procédés de fusion directe, ne nécessite pas de lance à oxygène. Il a recours à un jet d'air à vitesse élevée enrichi en oxygène. Du charbon et des poussières sont injectées à travers des tuyères de fond.

Statut : La Hismelt Corporation, dirigée par CRA (Australie) a construit une installation pilote d'une capacité de production de 14 tonnes par heure à Kwinana, en Australie de l'Ouest.

Bénéfices environnementaux : Une économie de carburant de 10 % par rapport aux hauts fourneaux est prévue. De plus, il n'est plus nécessaire d'avoir recours à une installation de prétraitement du minerai de fer (installation de pelletisation, installation d'agglomération) et à une cokerie. Contrairement aux autres procédés de réduction par fusion, celui-ci nécessite un vent chaud, ce qui exercera certainement une influence néfaste sur les émissions d'oxyde d'azote (NO_x).

Documents de référence : -

DIOS

Description : Le procédé de fonte directe du minerai de fer (DIOS) passe par trois étapes : un four de réduction directe à lit fluidisé pour préréduire le minerai de fer, un four de reformage du gaz pour mélanger le charbon pulvérisé et le gaz et un four de réduction par fusion pour réduire encore et fondre le minerai de fer.

L'oxygène de combustion est injecté au sommet du SRF. Le monoxyde de carbone (CO) généré sert à la réduction directe du minerai de fer dans le PRF. De l'azote est injecté au fond du SRF afin d'agiter le laitier dans le four.

Statut : Dans l'aciérie NKK de Keihin au Japon, une installation pilote fonctionne depuis 1994, produisant environ 500 tonnes de fer par jour.

Bénéfices environnementaux : La consommation d'énergie du procédé DIOS devrait être de 5 à 10 % moins élevée que celle des hauts fourneaux. De plus, il n'est plus nécessaire d'avoir recours à une installation de prétraitement du fer (installation de pelletisation, installation d'agglomération) et à une cokerie.

Documents de référence : [Kreulitsch, 1994]

AISI-DOE/CCF

Description : Les projets AISI-DOE et CCF étaient au départ deux projets de développement séparés.

Le projet AISI-DOE était un projet de R&D coopératif sur la fabrication directe de l'acier (réduction par fusion) organisé par plusieurs universités ainsi que des fabricants d'acier du Canada et des États-Unis, coordonné par l'institut américain du fer et de l'acier et parrainé par le Département à l'énergie américain. L'objectif était de produire de l'acier à partir de minerai de fer préréduit et de charbon dans un four de fusion à bain vertical. Le développement du four de fusion à bain vertical forme le socle du projet.

Le projet de four de conversion à cyclone est une initiative groupée de Hoogovens (Pays-Bas) et d'Ilva (Italie), dont la partie la plus importante est le développement du réacteur à cyclone. Le minerai de fer est préréduit et fondu dans le cyclone. Le mélange fondu tombe dans la partie inférieure du convertisseur, où la réduction s'achève. Le carburant est constitué de charbon en grains qui est injecté dans la partie inférieure du convertisseur en même temps que l'oxygène.

La température élevée qui règne dans le réacteur à cyclone et le fait qu'il soit en mesure de supporter des quantités importantes de matières volantes provenant du bain de fer permettent de passer de la réduction directe aux dernières étapes de la réduction. Grâce à la combinaison de ces deux étapes, l'efficacité du transfert de chaleur n'est pas un facteur critique (il n'y a en effet pas de refroidissement intermédiaire). Le fait que la réduction directe et la réduction finale aient lieu dans le même convertisseur représente une différence importante entre le CCF et les autres systèmes de réduction par fusion.

Le projet CCF s'est principalement concentré sur le développement du réacteur à cyclone.

En 1995, les deux parties ont vu qu'il était possible d'associer leurs technologies en réalisant une installation pilote de réduction par fusion les combinant.

Statut : Bien que le projet AISI-DOE ait donné lieu à un certain nombre d'essais, aucune installation pilote n'a été mise en service. Le projet CCF, lui, a été exploité à l'échelle d'une installation pilote d'une capacité de 20 tonnes par jour. Une installation pilote tirant parti des deux technologies et capable de produire 700 000 tonnes par an est à l'étude à Ijmuiden.

Bénéfices environnementaux : Puisqu'il n'est plus utile d'avoir recours à une cokerie ou à une installation d'agglomération ou de pelletisation, il est possible de réduire nettement les émissions. La consommation d'énergie par tonne d'acier sera également plus faible. En outre, il sera possible de produire du courant avec les gaz de combustion qui s'échappent du cyclone à environ 1 800 °C.

Documents de référence : [Freuhan, 1993 ; Kreulitsch, 1994 ; InfoMil, 1997]

ROMELT

Description : Le procédé ROMELT est en cours de développement en Russie depuis plus dix ans. Il ressemble aux autres procédés de bain de fonte mais ne fait pas appel à la réduction directe. Il utilise du minerai ou des oxydes résiduels et sa consommation de charbon est située entre 900 et 1 200 kg/tonne produite.

Statut : Une installation pilote d'une capacité de 500 à 1000 tonnes/jour située à Novolipetsk en Russie a produit plus de 300 000 tonnes et les plans détaillés d'une installation d'une capacité de 350 000 tonnes/an ont été réalisés.

Bénéfices environnementaux : Puisqu'il n'est plus utile d'avoir recours à une cokerie ou à une installation d'agglomération ou de pelletisation, il est possible de réduire nettement les émissions par rapport à celles occasionnées par la sidérurgie primaire de type classique. La consommation d'énergie par tonne d'acier sera également plus faible.

Documents de référence : [Freuhan, 1994 ; InfoMil, 1997]

10.4 Comparaison du haut fourneau, de la réduction directe et de la réduction par fusion

Deux types de techniques alternatives de production du fer ont été testées avec succès : les procédés de réduction directe tels que MIDREX et les procédés de réduction par fusion comme Corex. Le principal avantage des méthodes DR et SR vis-à-vis de l'environnement est de pouvoir fonctionner sans coke ni aggloméré. Cela permet d'éviter le recours aux cokeries et aux équipements d'agglomération, dont l'impact potentiel sur l'environnement est important.

La capacité de production active cumulée des installations au fer préréduit (DRI) est d'environ une de 33 millions de t/an dans le monde entier, ce qui représente moins de 5 % de la production mondiale d'acier brut (1996). Ces chiffres sont à comparer aux 155 millions de t/an qu'a représentés la production des aciéries dans rendements que les hauts fourneaux. Elles ont généralement été mises en place pour profiter de facteurs locaux comme une énergie et/ou du minerai très bon marché.

Se passer de cokeries permet d'éviter les rejets dans l'atmosphère de poussière et de COV provenant des fours, ainsi que les émissions vers l'atmosphère ou les eaux de sous-produits issus des installations de sous-produits. Les émissions provenant du traitement des mazouts de cokeries et des goudrons de fours à coke dans les affineries sont également éliminées. Ce processus permet aussi de faire l'économie des importantes quantités d'eau utilisées par les procédés traditionnels. L'élimination des installations d'agglomération diminue les rejets dans l'atmosphère de poussières métalliques ou non, ainsi que de polluants gazeux comme le dioxyde de soufre. La majeure partie des hauts fourneaux disposent désormais de systèmes de captage des fumées dans leur halle de coulée, ainsi que de système de chargement sans cloche. Leur impact sur l'environnement est par conséquent comparable à celui d'installations de réduction dotées de systèmes équivalents.

Il ne faut pas oublier que les méthodes sidérurgiques traditionnelles offrent de nombreuses possibilités de recyclage et d'élimination des déchets ferrugineux, gâteaux de filtre et mazouts issus de la production d'acier en aval qui ne sont pas toujours accessibles aux procédés par réduction. Il est également possible d'employer toute une gamme de charges et d'agents réducteurs de qualités différentes avec la méthode traditionnelle. Pour que cette nouvelle technologie atteigne des niveaux de performance comparables à ceux des autres méthodes, il faut trouver des moyens de traiter sur le site les fines de minerai et les autres matériaux produits.

Les émissions des installations de réduction sont généralement faibles, les rejets de particules dans l'atmosphère après réduction étant de l'ordre de 10 mg/Nm^3 . La réduction des émissions polluantes se base généralement sur une technologie humide, d'où la formation d'un courant de déchets aqueux. Il est toutefois possible de résoudre ce problème par le recyclage de l'eau ou par l'épuration par voie sèche. Quand la réduction directe ou la réduction par fusion font usage de pellets ou d'aggloméré ferreux, il faut tenir compte des émissions liées au traitement de ces matériaux dans la comparaison des impacts sur l'environnement des différentes méthodes.

Comme la réduction directe ne modifie pas l'état physique du produit et ne sépare pas les impuretés chimiques, la qualité finale dépend entièrement de celle de la charge. Si les charges employées sont de qualité médiocre, le fer préréduit produit ne sera probablement pas d'aussi bonne facture que le fer issu des hauts fourneaux. Les normes de comptabilité environnementale imposent que le fer préréduit soit fondu pour pouvoir être comparé directement au fer de haut fourneau. Il est nécessaire de tenir compte des besoins supplémentaires en énergie et les émissions liées à ce changement d'état physique.

Pour ce qui est des processus de réduction par fusion, Corex produit d'importants volumes de gaz de gueulard. Le rendement énergétique restera faible tant que les gaz ne seront pas réutilisés pour la production d'électricité ou d'éponge de fer. La consommation de charbon et les besoins en oxygène sont plus élevés que dans le cas des hauts fourneaux et les émissions de dioxyde de carbone sont nettement plus importantes. Que ce soit pour la réduction par fusion ou la réduction directe, il faut également tenir compte des oxydes d'azote issus de la réforme des gaz.

Les procédés de réduction par fusion ne sont pas encore arrivés à maturité. Corex est le seul d'entre eux à être commercialisé à l'heure actuelle. Ni la réduction directe ni la réduction par fusion n'ont fait la preuve qu'elles étaient en mesure de fonctionner au niveau de capacité atteint par les hauts fourneaux. Pour l'instant, le fer produit par ces méthodes n'est pas compétitif par rapport à celui produit en haut fourneau. Toutefois, le faible niveau d'investissement qu'elles requièrent en fait des choix intéressants dans les régions du monde où la technologie du haut fourneau n'est pas établie et l'énergie est bon marché.

La tendance actuelle à la réintroduction, dans un souci d'optimisation des processus, du coke et de l'aggloméré dans les installations de réduction directe pourrait bien réduire à néant une bonne partie des avantages dans le domaine environnemental que présentaient ces techniques à l'origine.

Le Tableau 10.4 fournit une comparaison du haut fourneau, de la réduction directe et de la réduction par fusion.

Caractéristiques.	Haut fourneau traditionnel ^{*1}	réduction directe ^{*2} (par ex. MIDREX)	Réduction par fusion ^{*2} (par ex. COREX)
Échelle de production	Bien établi et efficace en termes de ressources et d'énergie, production par installation de 2 Mt/an et plus. Reste la principale méthode de production de fer (95 % de la production mondiale).	Les processus reposant sur le gaz représente la majeure partie des capacités de production par réduction directe dans le monde. 63 % de ces capacités concernent la méthode MIDREX. La capacité maximale par installation pour ces processus est actuellement de 1,3 Mt/a Le fer préréduit est d'ordinaire utilisé pour remplacer les ferrailles pour les processus reposant sur des fours à arc.	La réduction par fusion est encore une technologie émergente.. Seul le processus COREX est commercialisé. Les capacités actuelles de production exploitables sont d'environ 1 Mt/an (deux usines). L'unité de réduction par fusion la plus récente et la plus importante actuellement exploitée a une capacité de 700 000 t/an.
Charge	Charbon Charbon à coke nécessaire pour la fabrication du coke Poussier de coke & anthracite (le cas échéant) pour les installations d'agglomération Charbon pour l'injection dans les hauts fourneaux (pas forcément charbon à coke) Éléments injectés en haut fourneau A côté du charbon, du mazout (y compris le mazout résiduaire), le gaz naturel et le plastique sont injectés dans les hauts fourneaux. Métaux Il est également possible d'employer toute une gamme de charges de qualités et de spécifications différentes.	Charbon (le cas échéant – concerne une minotrité des processus) Large gamme de combustibles solides allant de l'anthracite au charbon de bois (fours rotatifs) Gaz La teneur en soufre du gaz doit être peu élevée pour éviter une contamination du catalyseur de reformeur qui pourrait affecter la qualité du produit. Métaux Comme aucun changement d'état physique n'a lieu pendant le processus, des pellets et minerais en morceaux de haute qualité sont indispensables.	Charbon Pas de charbon à coke, spécifications plus souples que pour le haut fourneau. Métaux Minerai en morceaux, aggloméré ou pellets. Pour l'instant, les fines de minerai ne peuvent être utilisés directement. Oxygène De grandes quantités d'oxygène sont nécessaires pour le processus COREX (avec les conséquences que cela a en matière d'énergie).
Besoins en énergie	Généralement autour de 17 à 18 GJ/t de fer liquide (moins de gaz, vapeur et chauffage nécessaires pour le carbone contenu dans le fer).	Généralement compris entre 10,5 et 14,5 GJ/t de fer préréduit solide pour une exploitation du minerai en morceaux de 100 %. (Énergie supplémentaire nécessaire pour la	Difficile à quantifier car l'efficacité du processus dépend des crédits accordés à l'énergie exportée ou à la production de plus de fer préréduit au moyen de processus de réduction directe reposant

Caractéristiques.	Haut fourneau traditionnel ^{*1}	réduction directe ^{*2} (par ex. MIDREX)	Réduction par fusion ^{*2} (par ex. COREX)
		fusion des pellets, quand nécessaire).	sur le gaz .
Qualité du produit	Stable, qualité fiable.	Produit sujet à la réoxydation sauf s'il est passivé ou briqueté.. La qualité dépend largement de la qualité de la charge.	Identique au fer de haut fourneau.
Effets sur l'environnement Performances	Émissions dans l'environnement : entre autres poussières, COV, HAP et un certain nombre d'éléments organiques issus du four à coke. Les installations d'agglomération émettent du SO ₂ , du NO _x , de la poussière, du COV, du PCB, du PCDD/F et des HAP (voir Tableau 4-1). Les hauts fourneaux, eux, émettent de la poussière et du SO ₂ issus de leurs halles de coulée (voir Tableau 6-1). Le traitement requiert également d'importantes quantités d'eau. Toutefois, il permet de recycler un grand nombre de déchets solides, ce qui ne serait pas possible avec le processus de réduction directe. Les capacités des hauts fourneaux en matière de désulfuration permettent également d'utiliser des combustibles riches en soufre tout en restant respectueux de l'environnement. Le laitier de haut fourneau peut servir à la construction routière ou à la fabrication de ciment après pelletisation. Ces deux sous-produits présentent également l'avantage en matière de protection de l'environnement de réduire les besoins en agrégats primaires.	Étant donné que la plupart des procédés de réduction directe font usage de pellets, il convient de prendre en compte l'impact sur l'environnement des émissions dues à la pelletisation. Le fer préréduit contient généralement entre 2 et 4 % de gangue, dont le traitement nécessite de l'énergie additionnelle et est source d'émissions dans l'environnement. Les rejets de poussière sont similaires à ceux occasionés par les hauts fourneaux. En effet, les fines de matières premières sont criblées avant traitement. Pour que la réduction directe puisse remplacer la sidérurgie traditionnelle, il faut trouver un moyen satisfaisant de traiter les fines. Le réformage du gaz entraîne des émissions du NO _x . Les processus de réduction directe les plus efficaces emploient du gaz naturel, bien que le charbon reste la plus vaste source d'énergie dont l'humanité dispose. Du point de vue du développement durable, on peut considérer que le gaz devrait être réservé à la production de produits de haute valeur.	Certains processus de réduction directe nécessitent d'importantes quantités de gaz résiduaire. Les besoins en énergie et les émissions de CO ₂ sont plus élevées (sauf pour COREX). Pour que la réduction par fusion puisse remplacer la sidérurgie traditionnelle, il faut trouver un moyen satisfaisant de traiter les fines.
Coûts (indicatifs)	1 150 millions d'euros pour 3,5 Mt/an	210 millions d'euros pour 1,36 Mt/an	240 Millions d'euros pour 600 kt/an (y

Caractéristiques.	Haut fourneau traditionnel ^{*1}	réduction directe ^{*2} (par ex. MIDREX)	Réduction par fusion ^{*2} (par ex. COREX)
d'installation	(y compris le coût des installations d'agglomération et des fours à coke).	(en considérant que des pellets ou du minerai en morceaux appropriés sont disponibles).	compris le prix des installations à l'oxygène et à condition que des pellets ou du minerai en morceaux appropriés soient disponibles).

^{*1} four à coke, installation d'agglomération et haut fourneau ; ^{*2} La réduction directe et la réduction par fusion sont des techniques émergentes et les données concernant leur effet sur l'environnement sont encore incomplètes

Tableau 10.4 : Comparaison du haut fourneau, de la réduction directe et de la réduction par fusion pour la sidérurgie

11 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les conclusions et recommandations concernent les aspects « calendrier des travaux », « sources d'information », « meilleures techniques disponibles », « niveau de consensus » et « travail à venir ».

Calendrier des travaux

L'élaboration de ce BREF a pris près de deux ans. Les principales étapes ont été :

Première réunion TWG (réunion de démarrage)	du 22 au 23 mai 1997
Premier cycle de consultation	septembre / octobre 1997
Deuxième cycle de consultation	août/septembre 1998
Deuxième réunion TWG	du 18 au 20 novembre 1998
Projet final et troisième cycle de consultation	janvier / février 1999
Discussion sur le projet final à la réunion IEF	du 18 au 19 février 1999
Conclusion du Forum d'échange d'information (IEF) sur la portée du document de synthèse	du 29 au 30 septembre 1999

Sources d'information

93 rapports complets ont été remis au BEPRIP. Ils diffèrent beaucoup par la nature de leur information (données statistiques, description de certaines techniques de réduction des flux entrants ou des émissions par des techniques de production/de transformation intégrées, par des techniques de fin de cycle, etc.). Ils ont été rédigés selon des points de vue différents, certains mettant l'accent sur un aspect ou un milieu distinct, les autres, en très petit nombre, couvrant tous les aspects environnementaux. Il était dès lors inévitable que les données transmises subissent une évaluation intensive, un contrôle, une vérification et d'autres interrogations.

Deux excellents rapports ont été reçus : ce sont en particulier les « Dutch Notes on BAT for Production of Primary Iron and Steel » concernant les aciéries intégrées et, dans une moindre mesure, le « Report on BAT in the Electric Steelmaking Industry » allemand concernant les aciéries à four à arc électrique. La grande valeur de ces rapports leur a valu d'être largement utilisés dans le présent travail. Pouvoir disposer de tels documents au début des travaux sur un BREF est essentiel pour la qualité à atteindre. Il est dès lors fortement recommandé aux États membres et aux ONG industrielles et environnementales de préparer de semblables documents à un stade précoce de ces travaux.

Meilleures techniques disponibles

Les conclusions sur chacune d'elles ont été tirées pour les différentes étapes et installations de production des aciéries intégrées :

- installations d'agglomération (chapitre 4.4),

- installations de pelletisation (chapitre 5.4),
- cokeries (chapitre 6.4),
- hauts fourneaux (chapitre 7.4) et
- sidérurgie à l'oxygène et coulée (chapitre 8.4).

Pour les aciéries à fours à arc électrique, les conclusions sur les MTD sont contenues au chapitre 9.4.

Le résumé inclut toutes ces conclusions MTD.

Niveau de consensus

Ce BREF bénéficie d'un vaste consensus. Aucune divergence de vue n'a été constatée pendant les discussions du TWG et du forum d'échange d'informations (IEF). Un large accord s'est dégagé sur le document. Tous les participants au processus d'échange d'informations le considèrent comme un résultat acceptable. Certaines améliorations nécessaires ont toutefois été identifiées pour l'avenir (voir rubrique distincte).

Cette nécessité devient même une exigence justifiée et impérative en ce qui concerne la qualification des données présentées. A ce sujet, il a été fermement recommandé de qualifier les données comme suit : « Sauf indication contraire, les présents niveaux d'émissions « liés à l'utilisation de MTD » des chapitres MTD s'entendent comme des moyennes journalières tant dans le cas des rejets dans l'atmosphère que dans l'eau. » Cette recommandation est ée faite en liaison avec la déclaration selon laquelle les niveaux et valeurs donnés correspondent assez bien à la qualification « moyennes journalières. » Cependant, comme les sources de données disponibles ne contiennent pas cette telle qualification, une telle conclusion ne semble pas possible après coup.

Recommandations pour le travail à venir

En général, les ONG industrielles et environnementales ainsi que le TWG et l'IEF représentant les États membres voient dans ce BREF un document bien équilibré de grande valeur.

La nécessité de l'améliorer encore davantage a toutefois été mise en évidence, notamment sur les aspects suivants :

- développement d'une méthode de choix des techniques à considérer pour déterminer les MTD,
- développement d'une méthode de conclusion sur les MTD,
- amélioration de l'approche PRIP et évaluation croisée,
- amélioration de la qualification des données présentées sur les rejets et les consommations (méthodes d'échantillonnage et d'analyse, intervalles de temps, méthodes de calcul et conditions de référence),
- présentation d'informations plus détaillées sur des aspects concernant l'énergie, le bruit, la manutention, le transport et le stockage des matières (pollution des sols) ainsi que la sécurité et la salubrité.

Comme le travail sur l'amélioration de la qualification des données, en particulier, semble avoir la plus haute priorité, il devrait être entamé le plus tôt possible. Il est un fait que les différentes méthodes d'échantillonnage, les méthodes d'analyse, les intervalles de temps, les méthodes de calcul et les conditions de référence ne garantissent pas toujours la comparabilité des données collectées sur l'ensemble de l'UE (et dans le monde). Il existe dès lors un besoin urgent et impérieux d'harmonisation.

Quant à l'ensemble du document, on recommande qu'une version révisée soit disponible en 2005.

REFERENCES

[Arimitsu, 1995]

Arimitsu, Y.

Energy Saving in the Japanese Steel Industry

In: European Symposium on Environmental Control in Steel Industry, Praha (1995) 105-136

[Auth, 1988]

Auth, R.; Höffken, E.; Phlipsen, D; Seidelmann, L.

Die Entwicklung des Thyssen-Heißbrikettier-Verfahrens und die betriebliche Anwendung

(The Development of the Thyssen-Hot-Briquetting Process and its Practical Application)

Proceedings of "Dritte Duisburger Recycling-Tage" (1988)

[Blaha, 1995]

Blaha, J.

Untersuchungen zur thermischen Bildung von polychlorierten Dibenzo-p-dioxinen und

Dibenzofuranen

(Investigations on the Thermal Formation of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and

Dibenzofurans)

Dissertation, Universitaet D-Tuebingen (1995)

[Beer 1, 1991]

Beer, H.; Kersting, K.; Müller, H.

Auswirkungen unterschiedlicher Koksgruskoernungen bei der Eisenerzsinterung

(Impacts of Different Coke Breeze Grain Size Distribution on the Sintering Process)

Stahl und Eisen 111 (1991), No. 8, 57-64

[Beer 2, 1991]

Beer, H.; Beier, W.; Buckel, M.; Gerstenberg, B.; Kersting, K.; Kropla, H.-W.; Längen, H.B.;
Müller, H.; Rinne, K.; Schierloh, U.

Verfahrenstechnische und metallurgische Maßnahmen zur Verminderung des Energieeinsatzes
in Sinteranlagen

(Process-integrated and Metallurgical Measures to Reduce Energy Consumption of Sinter
Plants)

Stahl und Eisen 111 (1991), No. 11, 25-37

[Berger, 1995]

Berger, H.; Mittag, P.

The Comelt Electric Arc Furnace with Side Electrodes

MPT International (1995), No. 4, 64-71

[Bothe, 1993]

Bothe, R.

Umweltproblematik bei der Eisenerzsinterung

(Environmental Problems of the Iron Ores Sintering Process)

Dissertation, RWTH D-Aachen (1993)

[Broeker, 1993]

Broeker, G.; Bruckmann, P.; Gliwa, H.

Systematic Monitoring of PCDD and PCDF Emissions of Industrial Installations

Organohalogen Compounds 11 (1993) 303-306

[BS PCDD/F, 1998]

Fisher, R.; Anderson, D.R.; Fray, T.A.T.

Investigation of the Formation of Dioxins in the Sintering Process

2nd International Congress on the Science and Technology of Ironmaking Conjunction with the

57th Ironmaking Conference of Iron and Steel Society, C-Toronto, on March 22-25 (1998)

[Bussmann, 1995]

Bussmann, B.; Hofherr, K.; Philipp, J.; Reinitzhuber, F.

Coke Dry-Cooling Facility of the August Thyssen Coking Plant – Environmental Protection,
Energy Recovery, Product Improvement

Metallurgical Plant and Technology (1985), No. 2, 22-34

[Campell, 1992]

Campell, D.A.; Flietman, G.; Malgarini, G.; Smith, R.B.

Oxy-coal Injection at Cleveland Iron Works

Ironmaking and Steelmaking 19 (1992), No.2, 120-125

[CBNS, 1995]

Commoner, B.; Cohen, M.; Bartlett, P.W.; Dickar, A.; Eisl, H.; Hill, C.; Rosenthal, J.

Economically Constructive Conversion of the Sources Contributing to the Chemical Pollution
of the Great Lakes - Iron Sintering

Center of the Biology of Natural Systems, draft (1995)

[Deckers, 1995]

Deckers, B.; Josis, C.

Development of Environmental Control Technologies

In: European Symposium on Environmental Control in Steel Industry, Praha (1995) 35-50

[Dietrich, 1961]

Dietrich, G.

Reaktionskinetische Betrachtungen des Sintervorganges und Moeglichkeiten zur
Leistungssteigerung

(About the Reaction Kinetics of the Sintering Process and Possibilities for Productivity Increase)

Dissertation, RWTH D-Aachen (1961)

[DK EAF, 1997]

Danish Environmental Protection Agency

personal communications (1997)

[D Rentz, 1997]

Rentz, O.

Report on Best Available Techniques in the Electric Steelmaking Industry

French-German Institute for Environmental Research, D-Karlsruhe (1997)

[Dropsch, 1997]

Dropsch, H.; Harp, G.; Kersting, K.

Dioxine im Sinterabgas

(PCDD/F in the Off-gas from Sinter Plants)

Umwelt 27 (1997), No. 11/12, 44-46

[EC Air, 1996]

Council Directive 96/62/EC of 27.09.1996 on Ambient Air Quality Assessment and

Management

Official Journal of the European Communities (1996), No. L 296/55

[EC BOF, 1995]

European Commission

Technical Note on the Best Available Techniques to Reduce Emissions of Pollutants into the

Air from the Basic Oxygen Steel Making

DG XI.E.1 (1995)

[EC Coke, 1993]

European Commission (DG XI/A/3)

Technical Note on the Best Available Technologies to Reduce Emissions of Pollutants into Air from Coking Plants

5. draft, prepared by Cambridge Decision Analyst Ltd., UK-Cambridge (1993)

report has never been finalised

[EC Coke, 1996]

European Commission

Study on the Technical and Economical Aspects of Measures to Reduce (on the Basis of the Best Available Technologies) the Pollution (of Water and Other Environmental Areas) from the Industrial Emissions of Cokeries

Final report prepared by Oranjewoud International B.V., NL-Heerenveen in 1992 but published in (1996)

[EC EAF, 1994]

European Commission

Technical Note on the Best Available Technologies to Reduce Emissions of Pollutants into the Air from Electric Arc Steel Production Plants

DG XI A3 (1994)

[EC EAF, 1997]

European Commission

Pederse, J.

Optimisation of Environment and Related Energy Utilisation in Scrap-based Steelmaking (Phase I)

DG II - EUR 16662 EN (1997)

[EC Haskoning, 1993]

European Commission

Techno-economic Study on the Reduction Measures, Based on Best Available Technologies, of Water Discharges and Waste Generation from the Primary and Secondary Iron & Steel Industry
Final report prepared by Haskoning, NL-Nijmegen (1993)

[EC LECES, 1991]

Laboratoire d'Étude et de Contrôle de l'Environnement Sidérurgique (LECES)

Etude de la Réduction par Filtration à Manches des Pollutants Particulaires et Gazeux des Fumées de l'Agglomération de Minerai de Fer, Phase A

(Investigation on the Reduction of Dust and Gaseous Pollutants from Sinter Plants)

Final Report DG 'Social Affairs' CECA No. 7261-01/432/03 (1991)

[EC LV, 1998]

European Commission

Proposal for a Council Directive to Limit Values for SO₂, NO_x, Particulate Matter and Lead in Ambient Air

ENV 298 PRO-COOP 103, 06.07.1998 – 9687/98 (1998)

[EC Panorama, 1997]

European Commission

Iron and Steel

Panorama of EU Industry 97, Vol .1(1997) 10-8 - 10-14

[ECSC Treaty, 1951]

Treaty on the Foundation of the European Union for Coal and Steel on April 18th (1951)

[EC Sinter/BF, 1995]

European Commission (DG XI.E.1)

Technical Note on Best Available Techniques to Reduce Emissions of Pollutants into the Air
from Sinter Plants, Pelletisation and Blast Furnaces

Final report, prepared by Environmental Resources Management (1995)

[EC Study, 1996]

Roederer, C.; Gourtsoyannis, L.

Coordinated Study 'Steel-Environment'

DG XII - EUR 16955 EN (1996)

[EEA, 1997]

Berge, E.; Beck, J.; Larssen, S.; Moussiopoulos, N.; Pulles, T.

Air Pollution in Europe 1997

European Environment Agency (1997)

[Eickelpasch, 1972]

Eickelpasch, D.; Kahnwald, H.; Tichy, H.

Der Einfluss des Prozessgeschehens auf Emissionen und Folgerungen zu deren Verminderung
(The Influence of Process Operation on Emissions and Conclusions for its Minimisation)

Stahl und Eisen 92 (1972), No. 12, 575-581

[Eisenhut, 1988]

Eisenhut, W.; Orywal, F.; Meyer-Wulf, C.; Reinke, M.

New Findings and Developments in Environmental Protection and Health Safety at Work on
Coke Oven Plants

Bergbau-Forschung GmbH, D-Essen; Ironmaking Conference Proceedings (1988) 183-190

[Eisenhut, 1990]

Eisenhut, W.

Coking Plant Environment in West-Germany (unpublished tables)

Coke Making International, Vol. 1 (1990) 74-77

[Eisenhut, 1992]

Eisenhut, W.; Nashan, G.; Schönau, H.

Non-Recovery Coke Plant – A Challenge for Cokemaking Technology

Cokemaking International 4 (1992), No. 1, 51-56

[EPRI, 1992]

EPRI Center for Materials Production

Proceedings of the CMP Electric Arc Furnace Dust Treatment Symposium

CMP Report No. 92-4 (1992)

[EUROFER, 1997]

European Confederation of Iron and Steel Industries (EUROFER)

Annual report 1996 (1997)

[EUROFER BOF, 1997]

European Confederation of Iron and Steel Industries – Environmental Committee – Task Group

Oxygen Steelmaking

Document on “Oxygen Steelmaking and Casting” (1997)

[EUROFER EAF, 1997]

European Confederation of Iron and Steel Industries – Environmental Committee – Task Group

Electric Arc Furnace Steelmaking

Document on “Electric Arc Furnace Steelmaking” (1997)

[Eurostat, 1993]

Eurostat

Iron and Steel - the Iron and Steelworks Plants in the European Union (1993)

[Evenson, 1996]

Evenson, E.J.; Goodfellow, H.D.

Post-combustion and Fume System Optimisation

Steel Times International (1996), No. 6, 44-45

[Fisher, 1988]

Fisher, F.S.

Recovering Energy from a Blast Furnace through a Top Gas Turbine

Steel Times International 216 (1988), No. 10, 552-554

[Freuhan, 1993]

Freuhan, R.J.

Challenges and Opportunities in the Steel Industry

Iron and Steel Magazine (1993), No. 3, 59-64

[Freuhan, 1994]

Freuhan, R.J.

Effect of Emerging Technologies on Competitiveness in the Steel Industry

Iron and Steel Magazine (1994), No. 2, 17-22

[Gebert, 1995]

Gebert, W.

Abgasreinigungssysteme fuer Sinteranlagen

(Off Gas Purification Systems for Sinter Plants)

Dissertation Universitaet Kaiserslautern, D-Kaiserslautern (1995)

[Geiseler, 1991]

Geiseler, J.

Verwertung der Stahlwerksschlacken

(Reuse of Slags from Basic Oxygen Steelmaking)

Stahl und Eisen 111 (1991), No. 1, 133-138

[Geiseler, 1992]

Geiseler, J.

Verwertung von Hochofen- und Stahlwerksschlacken

(Reuse of Blast Furnace and BOF Slag)

In FehS: Eisenhuettenschlacken – Eigenschaften und Verwertung

Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Eisenhuettenschlacken, Heft 1 (1992) 1-32

[Gerlafingen, 1998]

Stahl Gerlafingen AG, CH-Gerlafingen – Personal Communication

Minimisation of PCDD/F and of other Micropollutants in a Post-combustion Chamber with

Subsequent Quenching (1998)

[Goverde, 1995]

Goverde, P.; Gulicky, R.

Milieuvoorzieningen bij Hoogovens IJmuiden

Wetenschapswinkel Technische Universiteit Delft, i.o.v. Milieufederatie Noord-Holland (June

1995)

[Grützmacher, 1991]

Grützmacher, K.; de Haas, H.; Mohnkern, H.; Ulrich, K.; Kahnwald, H.

Staubunterdrueckung in Hochofengießhallen

(Dust Supression in Cast Houses)

Eisen und Stahl 111 (1991), No. 3, 51-56

[Gudenau, 1992]

Gudenau, H.W.; Schlebusch, D.; Cappel, F.; Magedanz, N.

EOS – Emission-Optimised Sintering: Ein neues Verfahren zur Verbesserung des

Umweltschutzes beim Sintern von Eisenerzen

(EOS – Emission-Optimised Sintering: A New Technique for the Improvement of

Environmental Protection in the Sintering of Iron Ores)

Proceedings Umwelttage der Fakultaet fuer Bergbau, Huettenwesen und Geowissenschaften der

RWTH Aachen, 26./27. 11.1992

[de Haas, 1997]

de Haas, H.; Grützmacher, K.

Vermeidung der Staubbildung in Hochofengießhallen

(Dust Supression in Blast Furnace Cast Houses)

Final Report No. 50441-10/9 of a Research and Development Project sponsored by

Umweltbundesamt, D-Berlin (1997)

[Hagenmaier, 1996]

Hagenmaier, H.; Krauss, P.; Lindig, C.

Herkunft und Verbleib von Dioxinen, Furanen und PCB in Baden-Wuerttemberg

(Origin and Fate of PCDD/F and PCB in the German Federal State Baden-Wuerttemberg)

Report for the State Ministry of the Environment Baden-Wuerttemberg (1996)

[Haissig, 1997]

Haissig, M.

21st Century Electric Steelmaking: The Integrated Meltshop

Iron & Steel Society's 25th Advanced Technology Symposium in St. Petersburg Beach, USA Florida

on May 11-14 (1997) 1-10

[Harp, 1990]

Harp, G.; Klima, R.; Steffen, R.

Untersuchung und Bewertung der Einsatzmoeglichkeiten verschiedener Verfahren zur
Aufbereitung von Huettenwerksrest- und -abfallstoffen

(Investigation and Assessment of the Applicability of Different Techniques to Treat Residues
and By-products from Integrated Steelworks)

Betriebsforschungsinstitut (BFI) des Vereins Deutscher Eisenhuettenleute, D-Duesseldorf
(1990)

[Hein, 1996]

Hein, M.; Stoppa, H.; Wuch, G.

Environmental Protection and Occupational Health and Safety for Next-Century Coke-oven
Plants

Conference "Steel and the Environment in the 21st Century" on April 2-3, 1996

Conference Pre-prints (1996) 23-30

[Heinen, 1997]

Heinen, K.-H.

Elektrostahl-Erzeugung, 4. Aufl.

(Electric Arc Furnace Steel Production, 4. ed.)

Verlag Stahleisen GmbH, D-Duesseldorf (1997)

[Heiss, 1997]

Heiss, J.; Fritz, B.; Kohl, B.; Weber, T.

Optimising the Dust Cycle in LD III

Proceedings of 2nd European Oxygen Steelmaking Congress in I-Taranto on October 13-15

(1997)

[Helgeson, 1995]

Helgeson, U.; Gustafsson, S.

Unique Technology for Dust Processing at ScanDust

Nordic Steel & Mining Review (1995) 85-86

[Hille, 1997]

Hille, H.; Lanzer, W.; Luengen, H.B., Sieger, R.

Wirtschaftliche Betrachtungen zur Entwicklung der Hochofenkapazitäten in der Welt

(Economical Considerations of the Development of Blast Furnace Production Capacities in the World)

Eisen und Stahl 117 (1997), No. 3, 93-101

[Hodges, 1995]

Hodges, D.

Pollution Prevention and the Sinter Plant

In: European Symposium on Environmental Control in Steel Industry, Praha (1995) 275-287

[Hoffmann, 1997]

Hoffmann, M.

Die Rueckgewinnung von Zink und Blei aus Staeben der Elektrostahlerzeugung

(The Recovery of Zinc and Lead from Dusts from Electric Arc Furnace Steelmaking)

Manuscript of B.U.S. Bercelius Umwelt Service AG, D-Duisburg (1997)

[Huang, 1996]

Huang, H.; Buekens, A.

De Novo Synthesis of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans

The Science of the Total Environment 193 (1996) 121-141

[IISI, 1987]

International Iron and Steel Institute (IISI)

The Management of Steel Industry By-products and Wastes

IISI-Committee on Environmental Affairs, Brussels (1985) 42

[InfoMil, 1997]

Information Centre for Environmental Licensing (InfoMil)

Dutch Notes on BAT for the Production of Primary Iron and Steel

Final report, prepared for the Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment,

Directorate for Air and Energy, Department of Industry (1997)

[Jokschi, 1995]

Jokschi, H.

Development of Energy Conservation Technology at Thyssen Stahl AG in Germany

In: European Symposium on Environmental Control in Steel Industry, Praha (1995) 137-168

[Jokschi, 1998]

Energy Management of an Integrated Steel Plant

In: UN-ECE Seminar on Economic Aspects of Clean Technologies, Energy and Waste

Management in the Steel Industry

Proceedings of the Seminar in A-Linz on April 22 – 24 (1998)

[Karcher, 1996]

Karcher, A.; Weiss, D.

Ermittlung und Verminderung der Emissionen von Dioxinen und Furanen aus thermischen Prozessen: Untersuchung der Zusammenhaenge der Dioxin-/Furanemissionen in Abhaengigkeit von Einsatzstoffen und Minderungstechniken bei Elektrolichtbogenofen
(Investigation and Reduction of PCDD/F Emissions from Thermal Processes: Investigation of Connections of PCDD/F Emissions Depending on Input and Minimisation Techniques at Electric Arc Furnaces)
Final Report No. 10403365/17 of a Research and Development Project sponsored by Umweltbundesamt, D-Berlin (1996)

[Kemeny, 1994]

Kemeny, F.L.

Technical Look at EAF Dust Treatment
Proceedings of the CMP Electric Arc Furnace Dust Treatment Symposium
CMP Report No. 94-2 (1994)

[Kersting, 1997]

Kersting, K.; Josis, C.

Countermeasures for Organic Emissions from Sinter Plants
in: International Iron and Steel Institute
ENCOSTEEL – Steel for Sustainable Development
Conference on June 16-17, 1997 in S-Stockholm
Conference Papers (1997) 224-232

[Kim, 1998]

Kim, J.-R.; Lee, K.-J.; Hur, N.-S.

Improvement of Sinter Plant Stack Emissions at Kwangyang Works, Posco

2nd International Congress on the Science and Technology of Ironmaking Conjunction with the 57th Ironmaking Conference of Iron and Steel Society, C-Toronto on March 22-25 (1998) 1195-2000

[Klein, 1993]

Klein, H.; Engel, R.; Wampach, M.; Diderich, G.

Control of Dust Emissions from Metallurgical Operations by Treating the Ambient Atmosphere with Solid Carbon Dioxide

Proceedings of the UN-ECE Seminar on Metallurgy and Ecology in F-Nancy on May 10 – 14 (1993)

[Knapp, 1996]

Knapp, H.

Quality and Improvements of the Shaft Furnace with Post-combustion

Proceedings of the Monterrey Symposium (1996)

[Knoerzer, 1991]

Knoerzer, J.J.; Ellis, C.E.; Pruitt, C.W.

The Design and Operation of Jewell's New Nonrecovery Coke Oven Batteries

Iron & Steel Society; Paper presented at the 50th Ironmaking Conference in USA-Washington on April 14-17 (1991)

[Knoop, 1997]

Knoop, M.; Lichterbeck, R.; Köhle, R.; Siig, J.

Steuerung des Einschmelzens im Drehstrom-Lichtbogenofen zum Schutz der Wandkuehlelemente

(Control of Melting in the Three-Phase-Current Arc Furnace to Protect the Water-cooled Side Walls)

Stahl und Eisen 117 (1997), No. 2, 91-96

[Koeller, 1995]

Koeller, O.

Environmental Protection - A Challenge to Management in the Austrian Steel Industry

In: European Symposium on Environmental Control in Steel Industry, Praha (1995) 77-96

[Kola, 1996]

Kola, R.; Hake, A.; Kaune, A.

New Treatment-Process for Residues from Stainless-Steel Production and Processing by

Recycling the High-grade Ferro Alloys

Stahl und Eisen 116 (1996), No. 6, 265-267

[Kreulitsch, 1994]

Kreulitsch, H.; Egger, W.; Wiesinger, H.; Eberle, A.

Iron and Steelmaking of the Future

Iron and Steelmaking International (1994) 4-8

[Kuhner, 1996]

Kuhner, D.; Ploner, P.P.; Bleimann, K.R.

Noise Abatement for Electric Arc Furnaces

Iron and Steel Engineer 73 (1996), No. 4, 83-86

[Lahl, 1994]

Lahl, U.

Sintering Plants of Steel Industry - PCDD/F Emissions Status and Perspectives

Chemosphere 29 (1994) 1939-1945

[LAI, 1995]

Report from the Working Group of the Subcommittee Air/Technology of the State Committee
for Emission Protection

Determination of Requirements to Limit Emissions of Dioxins and Furans

Umweltbundesamt, UBA-Texte 58/95 (1995)

[Lemperle, 1993]

Lemperle, M.; Maschlanka, W.

Corex Today and Tomorrow

Metallurgical Plant and Technology International (1993), No. 4

[Lindblad, 1992]

Lindblad, B.; Burström, E.

A Scandinavian View on (Coated) Scrap and the Environment

Proceedings of the 1992 Steelmaking Conference in USA (1992)

[Lindblad, 1993]

Lindblad, B.

Studies of Emissions from Electric Arc Furnaces

Proceedings of the UN Seminar on Metallurgy and Ecology in F-Nancy on May 10-14 (1993)

[Lindblad, 1998]

Lindblad, B.

Jernkontoret, S-Stockholm (Lindblad, B.)

personal communications (1998)

[Linninger, 1995]

Linninger, A.; Patuzzi, A.

Modernes Technologie- und Informationsmanagement am Beispiel der Auslegung von
Elektrolichtbogenöfen

(Modern Technology and Information Management by Hand of the Design of Electric Arc
Furnaces)

Stahl und Eisen 115 (1995), No. 3, 93-101

[Linz, 1996]

City of Linz – Office for Environmental Protection

Medinger, W.; Utri, G.

Bilanz der Quecksilbermissionen aus Quellen im Linzer Stadtgebiet

(Balancing the emissions of mercury in the area of the city of Linz)

Report No. 1/96 (1996)

[Löhr, 1996]

Löhr, V.; Neubert, G.; Thomas, C.; Bamelis, G.

State of the Art in Biological Wastewater Treatment in European Coking Plants

Conference Proceedings, B-Gent (1996)

[Löhr, 1997]

Löhr, V.; Glattkowski, S.

Process for Wastewater Treatment of Coking Plants

Cokemaking International (1997), No. 1, 54-60

[LUA NRW, 1997]

Quass, U.; Fermann, M.

Identification of Relevant Industrial Sources of Dioxins and Furans in Europe (The European
Dioxin Inventory)

Materialien No. 43

North Rhine-Westphalia State Environment Agency (LUA NRW) (1997)

[Lüngen, 1995]

Lüngen, H.B.; Theobald, W.

Umweltschutz an europaeischen Sinteranlagen und Hochoefen

(Environmental Protection for European Sinter Plants and Blast Furnaces)

Stahl und Eisen 111 (1991), No. 12, 97-104

[Lüngen, 1995]

Lüngen, H.B.

Roheisenerzeugung im Jahr 2000

(Pig Iron Production in 2000)

Stahl und Eisen 115 (1995) 45-55

[Matzke, 1987]

Matzke, U.-D.

Blei-, Zink- und Alkalientfernung beim Sintern von Reicherzmischungen

(Lead, Zinc and Alkali Removal During Sintering of Rich Ore Mixtures)

Dissertation, RWTH D-Aachen (1987)

[Mc Manus, 1995]

Mc Manus, G.J.

Scrap Preheating: A Trend Gains Momentum

Iron and Steel Engineer (1995), No. 8, 60-61

[Mertins, 1986]

Mertins, E.

Die Aufbereitung von Hochofengichtgasschlaemmen – ein Beitrag zur Entsorgung eines

Abfallstoffes

(The Treatment of Blast Furnace Top Gas Sludges – A Contribution for the Disposal of a Solid Waste)

VCH, Verlag Erzmetal 39 (1986), No. 7/8, 399-404

[Meyer-Wulf, 1987]

Meyer-Wulf, C.; Wieschenkaemper, F.

Bericht Nr. ESG 13A/87 ueber die Abschaetzung der Emissionen von Staub, CO, SO₂, H₂S, HCN, CH₄, sonstigen Aliphaten, BTX und PAH aus den Ofentueren der Kokerei 2 von Hoogovens Ijmuiden

(Report No. ESG 13A/87 about the Estimation of Emissions of Dust, CO, SO₂, H₂S, HCN, CH₄, other Aliphatics, BTX and PAH from Coke Oven Doors of the Coke Oven Plant 2 Hoogovens IJmuiden)

Bergbau-Forschung GmbH, Kokereitechnischer Dienst, D-Essen (1987)

[Murphy, 1991]

Murphy, A.D.; Carr, J.H.

High Pressure Water Jet Coke-oven Door Cleaning and Mass-flow Charging of Ovens

Iron and Steel Engineer (1991), No. 3, 23-30

[Nagai, 1995]

Nagai, C.

Sources of Iron Beyond 2000

Steel Times International (1995), No. 5, EAF Supplement

[Nashan, 1997]

Nashan, G.

The Future Coke Supply – Market and Technology/Analysis and Perspectives

Proceedings of the Conference in USA-Charlotte “Coping with the Tightening Coke Supply: Is a crises Looming?” on March 5-7 (1997)

[Nathaus, 1997]

Kiro-Nathaus GmbH, D-Luedinghausen

Wet Quenching Towers with De-dusting Equipment – Brochure and Reference List (1997)

[Neuschütz, 1996]

Neuschütz, D.; Spencer, Ph.; Weiss, W.; Janz, J.

Comparison on Thermochemically Calculated and Measured Dioxin Contents in the Off-gas of a Sinter Plant - Part 1

Proceedings of the 9th Japan-Germany Seminar on Fundamentals of Iron and Steelmaking on September 8-9 (1996) 113-117

[NL RIZA, 1991]

RIZA

Best Available Technology (BAT) for the Reduction of Emissions to the Environment from Primary Iron and Steel Industry

Final Report of the Task Force for Elaboration of BAT for Primary Iron and Steel Industry

RIZA Report 91.048, NL-Lelystad (1991)

[OECD, 1988]

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)

Environmental Implications of Energy Use in Industry

Environment Monograph No. 13 (1988)

[Panne, 1997]

te Lindert, M.; van der Panne, A.L.J.

Demonstration Plant for Sintering with Reduced Volume of Flue Gases

Final Report about a Project Sponsored By ECSC Steel/Demonstration Programme

Contract No. 7215/AA/602 (1997)

[Pazdej, 1995]

Pazdej, R.; Vogler, R.

Treatment of BF and BOF Dust and Sludges

In: European Symposium on Environmental Control in Steel Industry, CZ-Praha (1995) 207-228

[Pedersen, 1996]

Pedersen, J.O.; Jensen, J.T.; Reichelt, W.; Doerken, H.-P.

Environmental Aspects of Steel Mill Gas Cleaning

Pre-prints of the Conference “Steel and the Environment in the 21st Century” in UK-London on April 2-3 (1996) 65-77

[Peters, 1994]

Peters, K.H.; Reinitzhuber, F.

Energiewirtschaftliche Auswirkungen einer optimierten Roheisenerzeugung

(Optimised Production of Pig Iron and its Impact on Energy Consumption and Costs)

Stahl und Eisen 114 (1994), No. 8, 61-68

[Philipp, 1987]

Philipp, J.; Görgen, R.; Henkel, S.; Hoffmann, G.W.; Johann, H.P.; Pöttken, H.G.; Seeger, M.;

Theobald, W.; Trappe, K.; van Ackeren, P.; Erve, S.; Feierabend, K.; Jansen, B.; Maas, H.;

Nagels, G.; Pietrowski, H.

Umweltschutz in der Stahlindustrie – Entwicklungsstand – Anforderungen – Grenzen

(Environmental Protection in the Steel Industry - State of Developments – Requirements –

Limits)

Stahl und Eisen 107 (1987), No. 11, 507-514

[Philipp, 1998]

Philipp, J.

Minderung der Dioxin-Emissionen von Sinteranlagen

(Reduction of Dioxin Emissions from Sinter Plants)

Umwelt (1998), No. 5-6, 48-49

[Ponghis, 1993]

Ponghis, N.; Dufresne, P.; Vidal, R.; Poos, A.

Blast Furnace Injection of Massive Quantities of Coal with Enriched Air or Pure Oxygen

Ironmaking Conference proceedings, March 28-31 in USA-Dallas (1993)

[Poth, 1985]

Poth, G.

Die Schlackengranulation des Hochofens Schwelgern mit einer OCP-Entwaesserung

(The Slag Granulation of the Blast Furnace Schwelgern with OCP De-watering)

Stahl und Eisen 105 (1985) 386-389

[Pütz, 1997]

Pütz, R.

Uebersicht ueber Dioxinemissionsquellen der Stahlindustrie unter besonderer

Beruecksichtigung ihrer Sinteranlagen

(Survey about the PCDD/F Sources in the Steel Industry with Special Consideration of Sinter Plants)

12. Aachener Stahlkolloquium (19./20.06.97); Conference proceedings (1997) V5-1 - V5-12

[Radoux, 1982]

Radoux, H.; Bernard, G.; Wagner, R.

INBA – das neue System zur Herstellung von granulierter Schlacke mit kontinuierlicher
Filterung und Foerderung

(INBA – The New System for the Production of Granulated Slag with Continuous Filtration and
Transport)

Fachberichte Huettenpraxis Metallweiterverarbeitung 20 (1982) 744-746

[Reiche, 1990]

Reiche, F.

Collection of High Resistivity Dust and Fume: Overcoming the Efficiency Problem

Proceedings of the JUPPA-Conference on Air Pollution on October 22-26 (1990), Vol. 2

[Reichelt, 1996]

Reichelt, W.; Hofmann, W.

Contiarc – A New Scrap Melting Technology

MPT International (1996), No. 2, 56-60

[Rentz, 1996]

Rentz, O.; Püchert, H.; Penkuhn, T.; Spengler, T.

Stoffstrommanagement in der Eisen- und Stahlindustrie

(Material Flow Management in the Iron and Steel Industry)

E. Schmidt Verlag, Berlin (1996)

[Ritamaeki, 1996]

Ritamaeki, O.

Environmentally Feasible Coke Dry Quenching Technology at Rautaruukki Ltd, Raahe Steel

Steel World (1996), No. 1, 21-27

[Rothery, 1987]

Rothery, E.

Desulphurisation of Coke Oven Gas by HSR Process

Steel Times International (1987), No. 6

[Sakuragi, 1994]

Sakuragi, J.; Kubo, S.; Terada, J.; Mochida, J.

Operation Results of the Exhaust Gas Recirculation System in Tobata No. 3 Sinter Plant

In: La Revue de Métallurgie – CIT. (June 1995)

[Schiemann, 1995]

Schiemann, J.

Untersuchungen des Sammelschrotts auf PCB-Quelen und Entwicklung geeigneter

Vorbehandlungsmaßnahmen

(Investigations of Collected Scrap on PCB Sources and Development of an Appropriate Pretreatment)

Final report No. 10310201 about a Research and Development Project Sponsored by the Federal Agency of Environmental Protection of Germany, D-Berlin (1995)

[Schönmuth, 1994]

Schönmuth, F.; Stoppa, H.

Inbetriebnahme und erste Betriebsergebnisse der neuen Kokerei Kaiserstuhl

(Starting up and First Operation Results of the New Coke Oven Plant Kaiserstuhl)

Stahl und Eisen 114 (1994), No. 8, 107-112

[Scholz, 1998]

Scholz, M.; Stieglitz, L.; Willi, R.; Zwick, G.

The Formation of PCB on Fly Ash and Conversion to PCDD/PCDF

Organohalogen Compounds 31 (1997) 538-541

[SHI, 1987]

Sumitomo Heavy Industries (SHI)

A System for Waste Heat Recovery in Sintering Plant

In: Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan 27 (1987), No. 7, 602

[Shoup, 1991]

Shoup, S.P.; Hepp, D.L.

Non-recovery Coke-Making: Its Time Has Come

Presentation at the 84th Annual Meeting & Exhibition in Vancouver on June 16-21 (1991)

[Smith, 1992]

Smith, T.

New Concept in EAF Energy Saving Commissioned at Sheerness Steel

I&SM (1992), No. 10, 57-59

[Spencer, 1992]

Spencer, D.J.; Neuschütz, D.

Chem. and Eng. Technology 15 (1992) 119

[Stahl, 1995]

Verein Deutscher Eisenhuettenleute

Jahrbuch Stahl 1996

(Yearbook Steel 1996)

Verlag Stahleisen GmbH, D-Duesseldorf (1996) 239

[Stahl, 1996]

Verein Deutscher Eisenhuettenleute

Jahrbuch Stahl 1997

(Yearbook Steel 1997)

Verlag Stahleisen GmbH, D-Duesseldorf (1996)

[Stalherm, 1990]

Stalherm, D.; Tietze, J.

Design and Start-up of the Third Wide Chamber Coke-oven Battery at Prosper, West-Germany

Iron and Steel Engineer (1990), No. 9, 9-15

[Stalherm, 1995]

Stalherm, D.; Piduch, H.-G.; Schüphaus, K.; Worberg, R.

Cokemaking and the Environment

Steel Times International (1995), No. 5, 19-22

[Stat. Stahl, 1997]

Wirtschaftsvereinigung Stahl (Hrsg.)

Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 1996 (1996)

(Statistical Yearbook of the Steel Industry 1996)

[Steeghs, 1994]

Steeghs, A.G.S.; Schoone, E.E.; Toxopeus, H.L.

High Injection Rates of Coal into the Blast Furnace

Metallurgical Plant and Technology (1994), No. 3

[Stieglitz, 1997]

Stieglitz, L.; Bautz, H.; Roth, W.; Zwick, G.

Investigation of Precursors Reaction in the De-Novo Synthesis of PCDD/PCDF on Fly Ash
Chemosphere 34 (1997) 1083-1090

[Strohmeier, 1996]

Strohmeier, G.; Bonestell, J.E.

Steelworks Residues and the Waelz Kiln Treatment of Electric Arc Furnace Dust

Iron and Steel Engineer (1996), No. 4, 87-90

[TA Luft, 1986]

Anonymous

Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft vom 27.02.1986

(Technical Instructions on Air Quality Control)

GMBL (1986) 95 ff

[Theobald, 1988]

Theobald, W.

Kreislauffuehrung von Hochofenwaschwasser

(Recycling of Blast Furnace Gas Scrubbing Water)

Unpublished Report of VDEh-Unterausschuss fuer Gewaesserschutz und Abwasserbehandlung
(1988)

[Theobald, 1995]

Theobald, W.

Ermittlung und Verminderung der Emissionen von halogenierten Dioxinen und Furanen aus
thermischen Prozessen

(Study of the Emissions of Polychlorinated Dibenzodioxins and -furans and Heavy Metals from
Iron and Steel Plants)

Final report No. 104 03 365/01 of a research project in charge of the Federal Agency for

Environmental Protection, D-Berlin (1995)

[Theobald, 1997]

Theobald, W.

Hintergrundpapier zum Anhang 24 (Anforderungen an die Eisen- und Stahlindustrie) zur

Rahmen-Abwasserverordnung nach § 7a Wasserhaushaltsgesetz

(Background Paper for the Requirements in annex 24 (Requirements for Iron and Steel

Industry) of the Wastewater Rule According to Section 7a of the German Water Management Act)

Draft (1997)

[Thyssen, 1997]

Thyssen Stahl AG

personal communications (1997)

[TNO Report, 1997]

Berdowski, J.J.M.; Baas, J.; Bloos, J.P.J.; Visschedijk, A.J.H.; Zandveld, P.Y.J.

The European Atmospheric Emission Inventory of Heavy Metals and Persistent Organic Pollutants for 1990

TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation, NLApeldoorn (1997)

[TWG, 1998]

Technical Working Group (TWG) for the BREF “Iron and Steel Industry”

Conclusions of the meeting in E-Seville on November 18-20 (1998)

[Trenkler, 1996]

Trenkler, H.

Energiesparender Gleichstrom-Doppel-Lichtbogenofen fuer Schrott minderer Qualitaet
(Energy Saving Direct Current Twin Electric Arc Furnace for Scrap of Minor Quality)
ABB Technik (1996), No. 9/10, 18-27

[UA-OÖ, 1998]

Umweltanwaltschaft Oberösterreich
Quecksilberemissionen aus Sinteranlagen
(Mercury Emissions from a Sinter Plant)

Press release and personal communication about the results of a very detailed study on the investigation of the environmental impact of an integrated steelworks, 17.03.1998

[UBA-BSW, 1996]

Weiss, D.; Karcher, A.
Ermittlung und Verminderung der Emissionen von Dioxinen und Furanen aus thermischen Prozessen; Untersuchung der Zusammenhaenge der Dioxin-/Furanemissionen in Abhaengigkeit von Einsatzstoffen und Minderungstechniken bei Elektro-Lichtbogenofen
(Determination and Minimisation of PCDD/F Emissions from Thermal Processes, Investigation of the Effect of Electric Arc Furnace Input and Emission Control Techniques on the Formation of PCDD/F Emissions)
Final report about a research project (No. 104 03 365/17) sponsored by the Federal Environmental Protection Agency of Germany, D-Berlin (1996)

[UBA Comments, 1997]

Environmental Protection Agency of Germany (UBA), Berlin
Comments on the draft 'Dutch Notes on Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the Production of Primary Iron and Steel' (1997)
(the final report of [InfoMil, 1997] took these comments into account)

[UK I&S, 1994]

Her Majesty's Inspectorate of Pollution, United Kingdom

Chief Inspector's Guidance to Inspectors - Process Guidance Note IPR 2/1

Iron and Steel Making Processes - Integrated Iron and Steel Works (1994)

[UK EAF, 1994]

Her Majesty's Inspectorate of Pollution, United Kingdom

Chief Inspector's Guidance to Inspectors - Process Guidance Note IPR 2/3

Processes for Electric Arc Steelmaking, Secondary Steelmaking and Special Alloy Production
(1994)

[UK Coke, 1995]

Her Majesty's Inspectorate of Pollution, United Kingdom

Chief Inspector's Guidance Note, Series 2 (S2) - Processes Subject to Integrated Pollution
Control

Carbonisation Processes: Coke Manufacture (1995)

[UK HMIP, 1993]

WS Atkins Consultants Ltd., UK-Epsom

Pollution Control for Integrated Iron & Steel Processes

Report, prepared for HMIP (DOE Report No: DoE/HMIP/RR/93/022 (1993))

[UK HMIP, 1996]

Entec, Cremer and Werner

Review of Best Available Techniques for the Control of Pollution from Carbonisation Processes

Report, prepared for HMIP (DOE Report No: DoE/HMIP/RR/95/023 (1996))

[Ullmann's, 1989]

Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry , 5. edition

Iron

VCH Verlagsgesellschaft , Weinheim Vol. A 14 (1991) 461-590

[Ullmann's, 1994]

Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry , 5. edition

Steel

VCH Verlagsgesellschaft , Weinheim Vol. A 25 (1994) 63-307

[UN-ECE, 1990]

Steel Section of the ECE Industry and Technology Division

The Recuperation and Economic Utilization of By-products of the Iron and Steel Industry

United Nations, Economic Commission for Europe, CH-Geneve (1990)

[UN-ECE, 1996]

UN-ECE Task Force "By-Product Utilization from Stationary Installations" – Status Report

Austrian Federal Ministry of the Environment, A-Vienna (1996)

[UN-ECE Pops, 1997]

United Nations/Economic Commission for Europe

Long-range Transboundary Air Pollution

Proposed Annexes to a Draft Protocol on Persistent Organic Pollutants,

draft 07.11.1997

[UN-ECE Lead, 1998]

COWI (in charge on the Danish Environmental Protection Agency)

The UN-ECE Task Force on the Phaseout of Lead in Petrol in Europe

draft main report (March 1998)

[UNEP, 1997]

United Nations Environment Programme - Industry and Environment

Steel Industry and the Environment

Technical and Management Issues

UNEP Technical Report No. 38 (1997)

[US PM-10, 1994]

U.S. Environmental Protection Agency

Alternative Control Techniques Document

PM-10 Emissions for Selected Processes at Coke Ovens and Integrated Iron and Steel Mills

(1994)

[VAI, 1997]

Pammer, O.; Kinzel, J.; Gebert, W.; Trimmel, W.; Zellner, H.

Successful Application of the Top-layer-sintering Process for Recycling of Ferrous

Residuals Contaminated with Organic Substances

Proceedings of the 56th Ironmaking Conference in US-Chicago on April 13-16 (1997)

[Vallomy, 1992]

Vallomy, J.A.; Fuse, T.; Nakamura, S.

Consteel Process Successful in USA – a 120 Mt/hr Unit Started up in Japan

Proceedings of the 4th European Electric Steel Congress in E-Madrid on November 3-6 (1992)

[Vos, 1995]

Vos, D.

Environmental Control at Hoogovens IJmuiden Coke Oven Plant

In: European Symposium on Environmental Control in Steel Industry, Praha (1995) 242-254

[Voss-Spilker, 1997]

Voss-Spilker, P.; Ehle, J.; Rummeler, K.

Emission Prevention and Energy Saving in Electric Arc Furnaces by the Fuchs Shaft Furnace Technology

Pre-prints of the Conference “Steel and the Environment in the 21st Century” in UK-London on April 2-3 (1996) 43-54

[Weigel, 1998]

Weigel

Information on Wastewater Composition from Blast Furnaces; submitted in November 1998 (1998)

[Weiss, 1996]

Weiss, W.

Minderung der PCDD/PCDF-Emissionen an einer Eisenerzsinteranlage

(Reduction of PCDD/F Emissions from a Iron Ore Sinter Plant)

VDI-Colloquium “Dioxins – Occurrence, Reduction, Monitoring” in D-Fulda on October 29-30 (1996)

Manuscript

[Weiss, 1998]

Weiss, W. (Stahlwerke Bremen, D-Bremen)

Comments dated of 07.09.1998 on the Experience of Operating a Bag Filter Subsequent to an ESP for Treatment of Waste Gas from a Sinter Strand

[Wenecki, 1996]

Wenecki, T.; Warzecha, A.

Production Technology for Dry-quenched Coke

Steel Technology International (1996) 47-52

[Werner, 1997]

Werner, C.

Control of Organic Micropollutants from the EAF

in: International Iron and Steel Institute

ENCOSTEEL – Steel for Sustainable Development

Conference on June 16-17, 1997 in S-Stockholm

Conference Papers (1997) 247-255

[WV Stahl, 1997]

Wirtschaftsvereinigung Stahl (Hrsg.)

personal communication (1997)

GLOSSAIRE

Généralités

AISI	American Iron and Steel Institute
AS	Boue activée
BF	Haut fourneau
BFG	Gaz de haut fourneau
DBO	Demande biochimique en oxygène
BOF	Convertisseur à oxygène
BOFgas	Gaz de convertisseur à oxygène
BTX	Benzène, toluène et xylène
CCM	Machine de coulée continue
CDQ	Extinction du coke à sec
DCO	Demande chimique en oxygène
COG	Gaz de cokerie
DCI	Injection directe de carbone
DIOS	Réduction directe et par fusion du minerai de fer
DRI	Fer pré-réduit
ECU/€	Unité monétaire européenne (ancienne et nouvelle, respectivement)
EOS	Sintérisation avec optimisation des émissions
ESP	Séparateur électrostatique ou électrofiltre
ETP	Dégoudronneur électrostatique
FB	Lit fluidisé
FF	Filtre en tissu
HBI	Fer aggloméré à chaud
MEEP	Séparateur électrostatique à électrode mobile
MSSLM	Matières solides en suspension dans la liqueur mixte
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
PCDD/F	Polychlorodibenzo-p-dioxines/furannes
pré-DN/N	Pré-dénitrification/nitrification
PCI	Injection de charbon pulvérisé
RAC	Regenerative Activated coke
MES	Matières en suspension
COV	Composés organiques volatiles

Unités

bar	bar
Bq	Becquerel
°C	degré Celsius
EURO	Unité monétaire européenne
g	gramme
J	Joule
h	heure
I-TEQ	Equivalence toxique PCDD/F
kWh	kilowattheure
l	litre
m	mètre
m ²	mètre carré
m ³	mètre cube (eau)
Nm ³	m ³ normalisé (273K, 1 013 mbar)
ppm	parties par million
ppmv	parties par million, fraction volumique
s	seconde
t	tonne (1 10 ⁶ grammes)
vol %	Pourcentage volumique
W	Watt
Ω	Ohm
K	Kelvin

Préfixes

n	nano	1 10 ⁻⁹
μ	micro	1 10 ⁻⁶
m	milli	1 10 ⁻³
c	centi	1 10 ⁻²
k	kilo	1 10 ³
M	Mega	1 10 ⁶
G	Giga	1 10 ⁹
P	Péta	1 10 ¹²
T	Téra	1 10 ¹⁵

Conversions

2,05 mg NO ₂ /Nm ³	=	1 ppmv NO ₂
2,85 mg SO ₂ /Nm ³	=	1 ppmv SO ₂
1 Watt	=	1 J/s

Éléments

Al	Aluminium
As	Arsenic
Ba	Baryum
Be	Béryllium
Ca	Calcium
Cd	Cadmium
Cl	Chlore
Co	Cobalt
Cr	Chrome
Cu	Cuivre
Fe	Fer
F	Fluor
Hg	Mercure
K	Potassium
Mg	Magnésium
Mn	Manganèse
Na	Sodium
Ni	Nickel
Pb	Plomb
Po	Polonium
Sb	Antimoine
Se	Sélénium
Sn	Etain
Ti	Titane
V	Vanadium
W	Wolfram
Zn	Zinc

Composés

CH ₄	Méthane
CN ⁻	Cyanure
CO	Monoxyde de carbone
CO ₂	Dioxyde de carbone
CO ₃ ²⁻	Carbonate
C _x H _y	Hydrocarbures
H ₂	Hydrogène moléculaire
HCN	Acide cyanique
HCO ₃ ⁻	Bicarbonate
HCl	Acide chlorhydrique
HF	Acide fluorhydrique
H ₂ O	Eau
H ₂ S	Acide sulfhydrique
N ₂	Azote moléculaire
NH ₃	Ammoniac
NH ₄ ⁺	Ammonium
N _{kj}	Azote Kjeldahl
NO ₂ ⁻	Nitrite
NO ₃ ⁻	Nitrate
NO _x	Oxydes d'azote
O ₂	Oxygène moléculaire
S ⁰	Soufre élémentaire
SCN ⁻	Thiocyanate
SO ₂	Dioxyde de soufre
SO ₃	Trioxyde de soufre
SO ₃ ²⁻	Sulfite
SO ₄ ²⁻	Sulfate

Indications d'émissions :

1. Rejets dans l'atmosphère :

- Masse des substances émises par rapport au volume de gaz résiduaux dans des conditions normales (273K, 1013 mbar), après déduction de la teneur en vapeur de l'eau, exprimée dans les unités suivantes : [g/Nm³], [mg/Nm³], [μg/Nm³] ou [ng/Nm³] ;

Masse des substances émises en fonction du temps, exprimée dans les unités suivantes : [kg/h], [g/h] or [mg/h] ;

Ratio entre la masse de substances émises et la masse de produits générés ou transformés (facteurs de consommation ou

d'émission), exprimé dans les unités suivantes : [kg/t], [g/t], [mg/t] or [µg/t].

2. Rejets dans l'eau :

Masse des substances émises par rapport au volume d'eaux usées, exprimée dans les unités suivantes : [g/Nm³], [g/l], [mg/l] ou [µg/l].