



DIRECTIVES SUR LES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES

en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants

Introduction: Sections I-IV



Le contenu de cette publication peut être reproduit à des fins éducatives ou sans but lucratif, dans son intégralité ou en partie, quelque soit le format, sans autre permission spéciale, pourvu que la source soit parfaitement identifiée. Le Secrétariat de la Convention de Stockholm et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) souhaiteraient recevoir une copie de tout ouvrage utilisant cette publication comme référence. Cette publication ne peut faire l'objet de revente ou toute autre activité commerciale sans l'accord préalable et par écrit du PNUE.

Publiée par le Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en octobre 2008. Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser au:

Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Genève, Suisse
ssc@pops.int - www.pops.int

Mise en page et impression par: SRO-Kundig - Genève

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

T A B L E D E S M A T I È R E S

SECTION I: INTRODUCTION

- I.A** OBJECTIF
- I.B** STRUCTURE DU DOCUMENT ET UTILISATION DES DIRECTIVES ET CONSEILS
- I.C** PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C: DÉFINITIONS, RISQUES, TOXICITÉ
- I.D** ARTICLE 5 ET L'ANNEXE C DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- I.E** LIEN AVEC LA CONVENTION DE BÂLE
- I.F** LIEN AVEC D'AUTRES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

SECTION II: CONSIDÉRATIONS D'ALTERNATIVES DANS L'APPLICATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

- II.A** CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES DANS LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- II.B** LA CONVENTION DE STOCKHOLM ET LES SOURCES NOUVELLES
- II.C** UNE APPROCHE À LA CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES
- II.D** AUTRES CONSIDÉRATIONS DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM

SECTION III: MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES: DIRECTIVES, PRINCIPES ET CONSIDÉRATIONS CROISÉES

- III.A** DIRECTIVES
- III.B** PRINCIPES ET APPROCHES GÉNÉRAUX
- III.C** CONSIDÉRATIONS CROISÉES:
 - (i) PRODUITS CHIMIQUES DE L'ANNEXE C: MÉCANISMES DE FORMATION
 - (ii) CONSIDÉRATIONS SUR LA GESTION DES DÉCHETS
 - (iii) EFFETS BÉNÉFIQUES ADDITIONNELS DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LES PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C
 - (iv) GESTION DES GAZ DE PROCÉDÉ ET D'AUTRES RÉSIDUS
 - (v) FORMATION DES DÉCIDEURS ET DU PERSONNEL TECHNIQUE
 - (vi) MESURES, SUIVI ET PRÉSENTATIONS DES RAPPORTS

SECTION IV: COMPILATION DES RÉSUMÉS DES CATÉGORIES DES SOURCES INCLUSES DANS LES SECTIONS V ET VI

RESUMES DE LA SECTION V: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

RESUMES DE LA SECTION VI: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

SECTION V: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DE SOURCES: CATEGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

- V.A** LES INCINÉRATEURS DE DÉCHETS
- (i) DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, DÉCHETS DANGEREUX ET DE BOUES D'ÉPURATION
 - (ii) DECHET MEDICAUX
- V.B** LE BRULAGE DE DÉCHETS DANGEREUX DANS LES FOURS A CIMENT
- V.C** LA PRODUCTION DE PÂTE À PAPIER UTILISANT LE CHLORE ÉLÉMENTAIRE, OU DES SUBSTANCES CHIMIQUES GÉNÉRANT DU CHLORE ÉLÉMENTAIRE
- V.D** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
- (i) PRODUCTION DU CUIVRE SECONDAIRE
 - (ii) USINES DE FRITTAGE DANS L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER
 - (iii) PRODUCTION D'ALUMINIUM SECONDAIRE
 - (iv) PRODUCTION DU ZINC SECONDAIRE

SECTION VI: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DES SOURCES: CATÉGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

- VI.A** LA COMBUSTION À CIEL OUVERT DE DÉCHETS, Y COMPRIS DANS LES DÉCHARGES
- VI.B** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE AUTRES QUE CEUX MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE C PARTIE II
- (i) PRODUCTION DU PLOMB SECONDAIRE
 - (ii) PRODUCTION D'ALUMINIUM PRIMAIRE
 - (iii) PRODUCTION DE MAGNESIUM
 - (iv) PRODUCTION D'ACIER SECONDAIRE
 - (v) PREMIERE FUSION DES METAUX DE BASE

VI.C	LES SOURCES DE COMBUSTION RÉSIDENTIELLES
VI.D	LA COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES DANS DES CHAUDIÈRES DE CENTRALES ET LES CHAUDIÈRES INDUSTRIELLES
VI.E	LES INSTALLATIONS DE BRÛLAGE DE BOIS ET DE COMBUSTIBLES ISSUS DE LA BIOMASSE
VI.F	LES PROCÉDÉS SPÉCIFIQUES DE PRODUCTION DE SUBSTANCES CHIMIQUES ENTRAÎNANT DES REJETS DE SUBSTANCES INSCRITES À L'ANNEXE C
VI.G	LES FOURS CRÉMATOIRES
VI.H	LES VÉHICULES À MOTEUR, NOTAMMENT CEUX UTILISANT DE L'ESSENCE AU PLOMB
VI.I	LA DESTRUCTION DE CARCASSES D'ANIMAUX
VI.J	LA TEINTURE DE TEXTILES OU DU CUIR (AU CHLORANILE) ET LA FINITION (EXTRACTION ALCALINE)
VI.K	LES INSTALLATIONS DE BROUAGE DES ÉPAVES DE VÉHICULES
VI.L	LE CHAUFFAGE LENT DE CÂBLES EN CUIVRE
VI.M	LES RAFFINERIES D'HUILES USÉES

Sections I-IV

Table des matières

Section I	Introduction	11
I.A	Objectif	13
I.B	Structure du document et utilisation des directives et conseils	14
I.C	Produits chimiques inscrits à l'Annexe C: Définitions, risques, toxicité	15
1.	Quels sont les produits chimiques inscrits à l'Annexe C?	15
1.1	Définition	15
1.2	Caractéristiques	15
1.3	Utilisations	15
2.	Quels sont les risques pour l'homme, associés aux produits chimiques inscrits à l'Annexe C?	16
2.1	Exposition	16
2.2	Les PCDD et PCDF	16
2.3	Les PCB	17
2.4	Le HCB	17
3.	Comment mesure-t-on la toxicité des substances chimiques inscrites à l'Annexe C?	17
3.1	Equivalence toxique	17
3.2	Doses admissibles	18
	Références	20
I.D	Article 5 et l'Annexe C de la Convention de Stockholm	21
I.E	Lien avec la Convention de Bâle	27
I.F	Lien avec d'autres préoccupations environnementales	28

Section II	Considération d’Alternatives dans l’Application des Meilleures Techniques Disponibles	31
II.A	Considération d’alternatives dans la Convention de Stockholm	33
II.B	La Convention de Stockholm et les sources nouvelles	33
II.C	Un approche a la considération d’alternatives	34
1.	Etude de la nouvelle installation proposée dans le contexte du développement durable	34
2.	Identification d’alternatives possibles et disponibles	34
3.	Entreprendre une évaluation comparative des alternatives possibles et disponibles, qui sont proposes et identifiées	35
4.	Considération des priorités	35
II.D	Autres considérations de la Convention de Stockholm	36
1.	Considérations de la santé	36
2.	Considérations sociales et économiques	36
3.	Considérations de l’annexe C	37
Section III	Meilleures techniques disponibles et meilleures pratiques environnementales: Directives, principes et considérations croisées	39
III.A	Directives	41
III.B	Principes et approches généraux	44
III.C	Considérations croisées	46
	(i) Produits chimiques de l’Annexe C: mécanismes de formation	46
	(ii) Considérations sur la gestion des déchets	48
	(iii) Effets bénéfiques additionnels des meilleures techniques disponibles pour les produits chimiques inscrits à l’Annexe C	61
	(iv) Gestion des gaz de procédé et d’autres résidus	63
	(v) Formations des décideurs et du personnel technique	80
	(vi) Mesures, suivi et présentation des rapports	81

Section IV	Compilation des résumés des catégories de sources incluses dans les sections V et VI	89
Préambule		91
Résumés de la section V: catégories de sources incluses dans la Partie II de l'Annexe C		91
A.	Les incinérateurs de déchets	91
	(i) Déchets solides municipaux, déchets dangereux et boues d'épuration	91
	(ii) Déchets médicaux	92
B.	Le brûlage de déchets dangereux dans les fours à ciment	93
C.	La production de pâte utilisant le chlore élémentaire, ou des substances chimiques générant du chlore élémentaire	94
D.	Les procédés thermiques dans l'industrie métallurgique	95
	(i) Production de cuivre secondaire	95
	(ii) Usines de frittage dans l'industrie du fer et de l'acier	95
	(iii) Production d'aluminium secondaire	96
	(iv) Production de zinc secondaire	97
Résumé de la section VI: catégories de sources incluses dans la Partie III de l'Annexe C		97
A.	La combustion à ciel ouvert de déchets, y compris les décharges	97
B.	Les procédés thermiques dans l'industrie métallurgique autres que ceux mentionnés dans l'Annexe C, Partie II	98
	(i) Production de plomb secondaire	98
	(ii) Production d'aluminium primaire	98
	(iii) Production de magnésium	99
	(iv) Production d'acier secondaire	99
	(v) La fusion primaire des métaux de base	100
C.	Les sources de combustion résidentielles	101
D.	La combustion de combustibles fossiles dans les chaudières de centrales et les chaudières industrielles	102
E.	Les installations de brûlage de bois et de combustibles issus de la biomasse	102
F.	Les procédés spécifiques de production de substances chimiques entraînant des rejets de substances inscrites à l'Annexe C	103
G.	Les fours crémateurs	103
H.	Les véhicules à moteur, notamment ceux utilisant de l'essence au plomb	104

I	La destruction de carcasses d'animaux	105
J	La teinture des textiles ou du cuire (au chloranile) et la finition (extraction alcaline).....	105
K	Les installations de broyage des épaves de véhicules	106
L.	Le chauffage lent de câbles de cuivre	107
M.	Les raffineries d'huiles usées.....	107

Tableaux

Section I

Tableau 1.	Facteurs d'équivalence toxique	19
------------	--------------------------------------	----

Section III

Tableau 1.	Comparaison des systèmes de contrôles pour les PCDD/PCDF	65
Tableau 2.	Caractéristiques des matériaux de filtres à manches	69
Tableau 3.	Comparaison des systèmes d'extraction des poussières	70
Tableau 4.	Méthodes pour l'échantillonnage et l'analyse des PCDD/PCDF et PCB dans les gaz de cheminée	82
Tableau 5.	Conversions des Condition de Référence	84
Tableau 6.	Méthodes d'essais biologiques pour les mesures des gaz et résidus dans de petits incinérateurs de déchets	85

Annexes

Section III

Annex 1	Traitement des déchets provenant de contrôles sanitaires aux frontières...	59
Annex 2	Cas d'étude sur la gestion de déchets de soins de santé.....	60

Encadrés

Section I

Encadrés 1.	Article 5 et l'Annexe C de la Convention de Stockholm	21
Encadrés 2.	Annex C de la Convention de Stockholm.....	23

Illustrations

Section III

Figure 1.	Hiérarchie de la gestion des déchets.....	50
Figure 2.	Principe de l'électrofiltre	67
Figure 3.	Electrofiltre à condensation	68
Figure 4.	Schéma d'un filtre en tissu	69
Figure 5.	Epuration/adsorption par pulvérisation à sec.....	71
Figure 6.	Réacteur de réduction catalytique sélective à haute température pour l'extraction simultanée des NOx et des PCDD/PCDF.....	75

Section I

Introduction

Dans le cadre de la Convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants, les Parties s'engageront à promouvoir dans certains cas, et à exiger dans d'autres, l'utilisation des meilleures techniques disponibles, et aussi à promouvoir l'application des meilleures pratiques environnementales. En résumé, chaque Partie devra:

- Etablir, dans les deux ans qui suivront l'entrée en vigueur de la Convention un plan d'action (national ou régional) dans lequel les rejets de produits chimiques répertoriés dans l'Annexe C de la Convention sont identifiés, caractérisés et examinés; le plan comprendra des inventaires de sources et tiendra compte des catégories de sources répertoriées dans les Parties II et III de l'Annexe C (sous-paragraphe (a) de l'Article 5);
- Pour des **sources nouvelles**,

Promouvoir et, conformément au calendrier de mise en œuvre de son plan d'action, exiger le recours aux meilleures techniques disponibles pour les sources nouvelles à l'intérieur des catégories de sources identifiées comme justifiant ce traitement, avec une attention particulière initialement aux catégories de sources énumérées dans la Partie II de l'Annexe C; l'exigence d'utiliser les meilleures technologies disponibles pour les catégories de sources de la Partie II sera appliquée progressivement aussi rapidement qu'il est pratiquement possible, mais pas au-delà de quatre ans après l'entrée en vigueur de la Convention pour la Partie (sous paragraphe (d) de l'Article 5);

Promouvoir, pour les catégories identifiées ci-dessus, l'utilisation des meilleures pratiques disponibles (sous-paragraphe (d) de l'Article 5);

Promouvoir, en conformité avec son plan d'action, les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales à l'intérieur des catégories des sources comme celles inscrites à la Partie III de l'Annexe C qu'une Partie n'aurait pas considéré ci-dessus (sous-paragraphe (e) (ii) de l'Article 5);

- Pour les **sources existantes**:

Promouvoir, conformément à son plan d'action, l'utilisation des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales pour les catégories de sources répertoriées dans la Partie III de l'Annexe C et pour des sources telles que celles répertoriées dans la Partie II de l'Annexe (sous paragraphe (d) (i) de l'Article 5).

En appliquant les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales pour les cas ci-dessus, les Parties devront prendre en considération les directives générales sur les mesures de prévention et de réduction des rejets de produits de l'Annexe C, et les directives sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales qui doivent être adoptées par décision de la Conférence des Parties (voir sous-paragraphe (d) et (e) de l'Article 5).

Lors de son première réunion tenue à Punta del Este, Uruguay, du 2 au 6 mai 2005, et dans sa décision SC-1/19, la Conférence des Parties de la Convention de Stockholm, a mis en place un Groupe d'Experts sur les Meilleures Techniques Disponibles et les Meilleures Pratiques Environnementales avec un mandat d'effectuer de nouveaux travaux, où cela est nécessaire, sur le renforcement et la consolidation des «directives provisoires sur les meilleures techniques disponibles et des conseils sur les meilleures pratiques environnementales en liaison avec l'Article 5 et l'Annexe C de la Convention»¹, en conformité avec le document UNEP/POPS/COP.1/INF/7.

La Conférence des Parties à la Convention de Stockholm, lors de sa troisième réunion tenue à Dakar, Sénégal, du 30 avril au 4 mai 2007, et dans le cadre de sa décision SC-3/5, a adopté ces présentes lignes directrices provisoires révisées sur les meilleures techniques disponibles et ces lignes directrices provisoires sur les meilleures pratiques environnementales, et a invité les Parties et autres pays à fournir au Secrétariat leurs expériences lors de la mise en œuvre des directives révisées susmentionnées.

En conformité avec l'Article 5 de la Convention, les lignes directrices et les conseils, une fois adoptés par la Conférence des Parties, devront être pris en considération lors de la mise en œuvre des meilleures techniques disponibles, et des meilleures pratiques environnementales en accord avec les sous-paragraphes (d) et (e) de l'Article 5. Ils pourront aussi être utilisés pour faciliter les prises de décision au niveau du pays pour la mise en œuvre des plans d'action, et d'autres actions relatives aux obligations spécifiées dans l'Article 5 et l'Annexe C.

I.B Structure du document et utilisation des directives et conseils

La Section I de ce document est une introduction et inclut les objectifs et la structure du document; une brève description des caractéristiques et risques des substances chimiques inscrite à l'Annexe C de la Convention de Stockholm; les dispositions appropriées de la Convention de Stockholm, Article 5 et Annexe C; un résumé des mesures nécessaires pour ces dispositions; et une explication de la relation entre ces dispositions et la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination.

La Section II conseille sur l'utilisation de produits alternatifs, en incluant une liste de vérifications qui peut être utilisée en appliquant les meilleures techniques disponibles aux nouvelles sources, et des informations sur d'autres considérations de la Convention de Stockholm.

La Section III inclut des conseils généraux, des principes applicables et des descriptions des considérations qui ont un lien commun avec de nombreuses catégories de sources.

La Section IV est une compilation des résumés fournis pour chaque catégorie de source dans les sections V et VI.

Les Sections V et VI contiennent des lignes directrices spécifiques pour chaque catégorie de source mentionnée dans les Parties II et III de l'Annexe C de la Convention de Stockholm. Pour chacune de ces directives concernant une source spécifique, les informations suivantes sont fournies:

- Description du procédé;
- Sources des substances chimiques inscrites à l'Annexe C;
- Mesures primaires et secondaires;
- Niveaux de performance;
- Présentation des résultats;
- Etudes de cas.

Les références et informations bibliographiques sont fournies avec chacune des directives.

I.C Produits chimiques inscrits à l'Annexe C: Définitions, risques, toxicité

1. Quels sont les produits chimiques inscrits à l'Annexe C?

1.1 Définition

Les substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm comprennent: les dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD), les dibenzofuranes polychlorés (PCDF), les polychlorobiphényles (PCB) et l'hexachlorobenzène (HCB).

1.2 Caractéristiques

Les substances chimiques inscrites à l'Annexe C, en plus de leur toxicité bien documentée, sont persistantes, s'accumulent dans le corps (bioaccumulation), et peuvent être transportées sur de longues distances. Elles ne se dégradent pas facilement dans l'environnement. Les substances chimiques qui s'accumulent dans l'organisme sont normalement solubles dans les graisses et se concentrent dans des niveaux trophiques élevés, y compris chez l'homme. Les substances chimiques inscrites à l'Annexe C, étant semi volatiles, passent par une série de processus d'évaporation et de condensation dans l'environnement, les rendant ainsi mobiles.

1.3 Utilisations

Les PCDD et PCDF n'ont jamais été utilisés en tant que produits commerciaux, et n'ont été fabriqués intentionnellement sauf pour des besoins de laboratoire.

Les PCB ont été utilisés en tant qu'agents de refroidissement et de lubrification dans les transformateurs, les condensateurs et autres équipements électriques parce qu'ils ne brûlent pas facilement et sont de bons isolants. Parmi d'autres produits qui peuvent

contenir des PCB, on peut citer les systèmes anciens de lampes fluorescentes, et des dispositifs électriques contenant des condensateurs aux PCB.

Le HCB a été largement utilisé comme pesticide pour protéger les graines d'oignon et les grains de sorgho, de blé et autres céréales contre les champignons. Il a également été utilisé dans la fabrication de feux d'artifice, de munitions et de caoutchoucs synthétiques. Il sert aussi comme solvant dans la fabrication de pesticides.

Les directives et conseils qui suivent ne s'appliquent pas cependant à la production commerciale des PCB et du HCB, mais plutôt aux procédés qui mènent par inadvertance à leur formation et à leur rejet.

2. Quels sont les risques pour l'homme, associés aux produits chimiques inscrits à l'Annexe C?

2.1 Exposition

Comme ces substances chimiques existent partout dans l'environnement, presque toutes les créatures vivantes, y compris l'homme, ont été exposées aux substances chimiques inscrites à l'Annexe C. L'exposition a lieu principalement par les aliments gras, y compris le lait maternel, mais peut aussi être consécutive à des accidents ou à des situations professionnelles. Les effets sur la santé qui ont été associés à ces expositions dépendent d'une variété de facteurs, y compris le niveau de l'exposition, et la durée et la fréquence de celle-ci.

2.2 Les PCDD et PCDF

Une bonne partie de l'information sur la toxicité de ces produits est basée sur des études approfondies sur l'élément le plus toxique de cette famille: le 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxine (TCDD), dans le cadre d'expériences sur des animaux. Le TCDD et les substances associées peuvent produire une grande variété d'effets sur les animaux, et pourraient avoir des effets similaires sur l'homme.

L'Agence Internationale pour la Recherche sur le Cancer (IARC), sous l'égide de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a identifié le 2,3,7,8-TCDD comme étant le composé de la famille des dioxines le plus toxique, et aussi un agent cancérigène pour l'homme, se fondant essentiellement sur des études de cas d'expositions accidentelles ou d'expositions professionnelles fortes. Des études sur les animaux ont aussi démontré un risque de cancer accru en cas d'exposition à long terme aux PCDD/PCDF.

L'exposition aux TCDD génère une grande variété d'effets au niveau de la reproduction et du développement, sur un certain nombre d'espèces d'animaux de laboratoire, indiquant aussi une viabilité réduite, des modifications structurelles, des retards de croissance et des changements fonctionnels. Des effets sur le comportement neurologique et sur le système immunitaire, ainsi que sur différentes fonctions endocrines, y compris celles de la thyroïde, ont été mis en évidence. Sur la base de ces indications, en particulier à des doses élevées, mais dans certains cas à des doses proches de l'échelle humaine, les scientifiques sont préoccupés par la possibilité de retrouver ces

mêmes effets chez l'être humain, surtout dans le contexte d'effets d'une exposition prénatale des enfants en période de croissance.

2.3 Les PCB

Les effets sur la santé les plus souvent constatés chez les personnes exposées à des quantités importantes de PCB concernent la peau. Des études sur des travailleurs exposés, ont démontré des changements dans le sang et l'urine qui pourraient indiquer des altérations au niveau du foie. Dans le cas des incidents de Yusho et de Yucheung, chacun impliquant environ 2000 cas, des japonais et taiwanais ont été exposés à des concentrations élevées de PCB et de PCDF à la suite d'une consommation d'huile de riz contaminée; entre autres, les décès dus aux maladies du foie étaient 2 à 3 fois plus élevés dans les deux groupes que la moyenne nationale (IARC). Des expositions aux PCB dans la population en général, ne devraient pas avoir d'effets sur la peau et le foie. La plupart des études sur les effets sur la santé des PCB ont porté sur des enfants de mères exposées aux PCB.

L'IARC a pu démontrer que les PCB sont probablement cancérigènes pour l'homme. Quelques études sur des travailleurs ont indiqué que les PCB étaient associés à certains types de cancer chez l'homme, par exemple des cancers du foie et de la tracte biliaire. Des rats consommant des aliments à forte dose de PCB pendant 2 ans ont développé des cancers du foie.

Les PCB peuvent être associés à des effets sur le développement ou sur le système endocrine. Des femmes exposées à des niveaux de PCB relativement élevés au travail, ou qui consommaient de grandes quantités de poisson contaminé aux PCB, ont enfanté de bébés pesant un peu moins que ceux de femmes n'ayant pas subi d'exposition. Les bébés de femmes qui ont consommé des poissons contaminés aux PCB ont également montré des réponses anormales aux tests du comportement de l'enfant. Certains de ces comportements, notamment ceux relatifs aux capacités de motricité et à une décroissance de la mémoire courte, se sont manifestés pendant plusieurs années.

2.4 Le HCB

Le *United States Department of Health and Human Services* a déterminé que le HCB peut raisonnablement être considéré comme cancérigène. Des études sur les animaux ont démontré que l'ingestion de quantités importantes de HCB peut altérer le foie, la thyroïde, les systèmes nerveux, les os, les reins, le sang et les systèmes immunitaires et endocrines.

3. Comment mesure-t-on la toxicité des substances chimiques inscrites à l'Annexe C?

3.1 Equivalence toxique

Parmi les PCDD/PCDF, les molécules les plus toxiques ont des atomes de chlore dans les positions 2, 3, 7 et 8. Pour les PCB, les toxicités les plus élevées se trouvent parmi les

molécules ayant une structure plane, similaire à celle des PCDD/PCDF. La toxicité des mélanges de ces substances est évaluée sous la forme d'un seul nombre, appelé l'équivalent toxique (TEQ) (en anglais: *toxic equivalent*).

Pour déterminer le TEQ d'un mélange, la quantité de chacun des membres toxiques de la famille est multipliée par un facteur de pondération par rapport à la substance la plus toxique: le 2,3,7,8 TCDD. Ce facteur de pondération est appelé facteur d'équivalence toxique (TEF). Ce premier schéma, développé par le Comité sur les Enjeux de la Société Moderne de l'OTAN en 1988, appelé I-TEF a couvert 17 PCDD/PCDF. Vingt-neuf des 419 PCDD, PCDF et PCB individuels ont des TEF qui ont été désignés par l'OMS en 1997, et révisés en 2005 (Tableau 1). Le HCB ne possède pas de TEF.

3.2 Doses admissibles

La dose d'ingestion quotidienne (TDI) est la quantité d'ingestion par kg pondéral par jour d'un composé chimique jugé ne pas donner lieu à des manifestations d'effets sur la santé si une telle quantité est prise chaque jour pendant la durée d'une vie. La TDI établie par l'OMS en 1998 pour les composés chimiques contribuant au TEQ a été fixée à 1-4 pg/kg pondéral/jour². En 2001, le Comité d'Experts conjoint FAO/OMS sur les additifs alimentaires a fixé une dose mensuelle admissible provisionnelle (PTMI) de 70 pg/kg pondéral/mois, ce qui s'approche de 2,3 pg/kg corporel/jour.

■ **Tableau 1. Facteurs d'équivalence toxique**

Congénère	TEF mammalien OMS/1997	I-TEF	TEF mammalien OMS/2005
PCDD			
2,3,7,8-TCDD			
1,2,3,7,8-PeCDD	1	1	1
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1	0,5	1
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	0,1	0,1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	0,01	0,01
1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD	0,0001	0,001	0,0003
PCDF			
2,3,7,8-TCDF	0,1	0,1	0,1
1,2,3,7,8-PeCDF	0,05	0,05	0,03
2,3,4,7,8-PeCDF	0,5	0,5	0,3
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	0,1	0,1
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	0,1	0,1
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	0,1	0,1
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	0,01	0,01
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	0,01	0,01
1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF	0,0001	0,001	0,0003
PCB			
IUPAC No. Structure			
Substituée <i>non-ortho</i>			
77 3,3',4,4'-TCB	0,0001	n.d.	0,0001
81 3,4,4',5-TCB	0,0001		0,0003
126 3,3',4,4',5-PeCB	0,1		0,1
169 3,3',4,4',5,5'-HxCB	0,01		0,03
Substituée <i>mono-ortho</i>			
105 2,3,3',4,4'-PeCB	0,0001		0,00003
114 2,3,4,4',5-PeCB	0,0005		0,00003
118 2,3',4,4',5-PeCB	0,0001		0,00003
123 2',3,4,4',5-PeCB	0,0001		0,00003
156 2,3,3',4,4',5-HxCB	0,0005		0,00003
157 2,3,3',4,4',5'-HxCB	0,0005		0,00003
167 2,3',4,4',5,5'-HxCB	0,00001		0,00003
189 2,3,3',4,4',5,5'-HpCB	0,0001		0,00003

n.d. : non-disponible

Références

Documents

Government of Japan. 2003. *Dioxins*. Information pamphlet. Government of Japan, Ministry of the Environment, Environmental Management Bureau, Office of Dioxins Control.

Sites Internet

International Agency for Research on Cancer (IARC) Monographs. <http://monographs.iarc.fr>.

Joint Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization (FAO/WHO) Expert Committee on Food Additives (JECFA), fifty-seventh meeting, Rome, 5–14 June 2001. *Summary And Conclusions*.

<http://www.fda.gov/ohrms/dockets/dockets/95s0316/95s-0316-rpt0254-05-vol186.pdf>.

United States Center for Disease Control. *TOXFAQs for Hexachlorobenzene*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. www.atsdr.cdc.gov/tfacts90.html.

United States Center for Disease Control. *TOXFAQs for Polychlorinated Biphenyls*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. www.atsdr.cdc.gov/tfacts17.html.

WHO (World Health Organization). *Dioxins and Their Effect on Human Health*. WHO, Geneva. www.who.int/mediacentre/factsheets/fs225/en/.

WHO (World Health Organization). 2005. Project for the re-evaluation of human and mammalian toxic equivalency factors (TEFs) of dioxins and dioxin-like compounds, http://www.who.int/ipcs/assessment/tef_update/en/

■ Encadré 1: Article 5 de la Convention de Stockholm

ARTICLE 5

**Mesures propres à réduire ou éliminer les rejets
résultant d'une production non intentionnelle**

Chaque Partie prendra au minimum les mesures ci-après pour réduire le volume total des rejets d'origine anthropique de chacune des substances chimiques inscrites à l'annexe C, dans le but de réduire leur volume au minimum et, si possible, de les éliminer à terme:

- (a) Elaborer, dans les deux ans qui suivent l'entrée en vigueur de la Convention à son égard, un plan d'action ou, le cas échéant, un plan d'action régional ou sous-régional, et l'appliquer ensuite dans le cadre du plan de mise en œuvre préconisé par l'article 7, afin d'identifier, de caractériser et de gérer les rejets de substances chimiques inscrites à l'annexe C et de faciliter l'application des alinéas b) à e). Ce plan d'action doit comporter les éléments suivants:
 - (i) Une évaluation des rejets actuels et projetés, et notamment l'établissement et la tenue à jour d'inventaires des sources et d'estimations des rejets, tenant compte des catégories de sources énumérées à l'annexe C;
 - (ii) Une évaluation de l'efficacité des législations et politiques appliquées par la Partie pour gérer ces rejets;
 - (iii) Des stratégies visant à assurer le respect des obligations au titre du présent paragraphe, compte tenu des évaluations prévues aux points i) et ii);
 - (iv) Des mesures visant à faire connaître les stratégies susmentionnées et à promouvoir l'éducation et la formation en la matière;
 - (v) Un examen de ces stratégies tous les cinq ans, pour déterminer dans quelle mesure elles ont permis à la Partie de s'acquitter des obligations au titre du présent paragraphe; les résultats de ces examens figureront dans les rapports présentés en application de l'article 15;
 - (vi) Un calendrier de mise en œuvre du plan d'action, y compris des stratégies et mesures qui y sont énoncées;
- (b) Encourager l'application de mesures matériellement possibles et pratiques qui permettent d'atteindre rapidement un niveau réaliste et appréciable de réduction des rejets ou d'élimination des sources;
- (c) Encourager la mise au point et, si elle le juge approprié, exiger l'utilisation de matériels, produits et procédés modifiés ou de remplacement pour prévenir la formation et le rejet des substances chimiques inscrites à l'Annexe C, en tenant compte des directives générales sur les mesures de prévention et de réduction

des rejets qui figurent à l'annexe C, en tenant compte des directives générales sur les mesures de prévention et de réduction des rejets qui figure à l'annexe C ainsi que des directives qui seront adopter par décision de la Conférence des Parties;

- (d) Encourager et, conformément au calendrier de mise en œuvre de son plan d'action, exiger le recours aux meilleures techniques disponibles pour les sources nouvelles à l'intérieur des catégories de sources qu'une Partie a recensées comme justifiant ce traitement dans le cadre de son plan d'action, en se concentrant initialement sur les catégories de sources énumérées dans la partie II de l'annexe C. En tout état de cause, l'utilisation des meilleures techniques disponibles pour les sources nouvelles à l'intérieur des catégories énumérées dans la partie II de ladite annexe sera introduite aussitôt que possible et au plus tard quatre ans après l'entrée en vigueur de la présente Convention pour cette Partie. Pour les catégories ainsi recensées, les Parties encourageront le recours aux meilleures pratiques environnementales. Pour l'application des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales, les Parties devraient tenir compte des directives générales sur les mesures de prévention et de réduction des rejets figurant à l'annexe C ainsi que des directives sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales qui seront adoptées par décision de la Conférences des Parties;
- (e) Encourager, conformément à son plan d'action, le recours aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales;
 - (i) Pour les sources existantes, à l'intérieur des catégories de sources énumérées à la partie II de l'annexe C et de catégories de sources telles que celles énumérées à la partie III de ladite annexe; et
 - (ii) Pour les sources nouvelles, à l'intérieur de catégories de sources telles que celles énumérées à la partie III de l'annexe C pour lesquelles cette Partie ne l'a pas fait en vertu de l'alinéa d).

Dans l'application des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales, les Parties devraient tenir compte des directives générales sur les mesures de prévention et de réduction des rejets figurant à l'annexe C ainsi que des directives sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales qui seront adoptées par décision de la Conférence des Parties;

- (f) Aux fins du présent paragraphe et de l'annexe C:
 - (i) Par «meilleures techniques disponibles», on entend 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 de limitations des rejets visant à prévenir et, lorsque cela s'avère impossible, à réduire de manière générale les rejets des substances chimiques énumérées à la partie I de l'annexe C et leur impact sur l'environnement dans son ensemble. A cet égard:
 - (ii) Par «techniques» on entend aussi bien la technologie utilisée, que la façon dont l'installation est conçue, construite, entretenue, exploitée et mise hors service,

- (iii) Par techniques «disponibles», on entend les techniques auxquelles l'exploitant peut avoir accès, et qui sont mises au point sur une échelle permettant de les appliquer dans le secteur industriel concerné, dans des conditions économiquement et techniquement viables, compte tenu des coûts et des avantages,
- (iv) Par «meilleures», on entend les techniques les plus efficaces pour atteindre un niveau général élevé de protection de l'environnement dans son ensemble,
- (v) Par «meilleures pratiques environnementales» on entend l'application de la combinaison la plus appropriée de stratégies et mesures de réglementation environnementale,
- (vi) Par «source nouvelle» on entend toute source que l'on commence à construire ou que l'on entreprend de modifier substantiellement au moins un an après la date d'entrée en vigueur:
 - a. De la présente Convention à l'égard de la Partie concernée; ou
 - b. D'un amendement à l'annexe C pour la Partie concernée, lorsque la source est soumise aux dispositions de la présente Convention uniquement en vertu de cet amendement.
- (g) Des valeurs limites de rejets ou des normes de fonctionnement peuvent être utilisées par une Partie pour s'acquitter de ses obligations en matière de meilleures techniques disponibles en vertu du présent paragraphe.

■ Encadré 2: Annexe C de la Convention de Stockholm

Annexe C

PRODUCTION NON INTENTIONNELLE

Partie I: polluants organiques persistants soumis aux obligations énoncées à l'Article 5

La présente Annexe s'applique aux polluants organiques persistants suivants, lorsqu'ils sont produits et rejetés de manière non intentionnelle par des sources anthropiques:

Substance chimique

Polychlorodibenzo-*p*-dioxines et dibenzofuranes (PCDD/PCDF)
Hexachlorobenzène (HCB) (CAS No: 118-74-1)
Polychlorobiphényles (PCB)

Partie II: Catégories de sources

Les polychlorodibenzo-*p*-dioxines et dibenzofuranes, l'hexachlorobenzène et les polychlorobiphényles sont produits et rejetés involontairement lors de procédés thermiques faisant intervenir des matières organiques et du chlore, du fait d'une combustion incomplète ou de réactions chimiques. Les catégories suivantes de sources

industrielles ont un potentiel relativement élevé de production et de rejet de ces substances dans l'environnement:

- (a) Les incinérateurs de déchets, y compris les co-incinérateurs de déchets municipaux, dangereux ou médicaux, ou de boues d'épuration;
- (b) Le brûlage de déchets dangereux dans des fours en ciment*;
- (c) La production de pâte utilisant le chlore élémentaire, ou des substances chimiques générant du chlore élémentaire, pour le blanchiment;
- (d) Les procédés thermiques suivants dans l'industrie métallurgique:
 - (i) Production secondaire de cuivre;
 - (ii) Installations de frittage de l'industrie métallurgique;
 - (iii) Production secondaire d'aluminium;
 - (iv) Production secondaire de zinc.

Partie III: Catégories de sources

Les polychlorodibenzo-*p*-dioxines et dibenzofuranes, l'hexachlorobenzène et les polychlorobiphényles peuvent également être produits et rejetés involontairement par les catégories de sources suivantes, notamment:

- (a) La combustion à ciel ouvert de déchets, y compris dans les décharges;
- (b) Les procédés thermiques de l'industrie métallurgiques autres que ceux mentionnés dans la partie II;
- (c) Les sources de combustion résidentielles;
- (d) La combustion de combustibles fossiles dans les chaudières de centrales et les chaudières industrielles;
- (e) Les installations de brûlage de bois et de combustibles issus de la biomasse;
- (f) Les procédés spécifiques de production de substances chimiques entraînant des rejets de polluants organiques persistants produits involontairement, notamment la production de chlorophénols et de chloranile;
- (g) Les fours crématoires;
- (h) Les véhicules à moteur, notamment ceux utilisant de l'essence au plomb;
- (i) La destruction de carcasses d'animaux;
- (j) La teinture des textiles ou du cuir (au chloranile) et la finition (extraction alcaline);
- (k) Les installations de broyage des épaves de véhicules;
- (l) Le chauffage lent de câbles en cuivre;
- (m) Raffineries d'huiles usées.

* *N. du T.: on utilise ultérieurement le terme «four à ciment»*

Partie IV: Définitions

1. Aux fins de la présente annexe:
 - (a) «Polychlorobiphényles» s'entend des composés aromatiques dont la structure est telle que les atomes d'hydrogène de la molécule de biphényle (deux cycles benzéniques reliés par un seul lien carbone-carbone) peuvent être remplacés par un nombre d'atomes de chlore allant jusqu'à dix;
 - (b) «Polychlorodibenzo-*p*-dioxines» et «polychlorodibenzofuranes», s'entend des composés aromatiques tricycliques formés par deux cycles benzéniques reliés par deux atomes d'oxygène dans le cas des polychlorodibenzo-*p*-dioxines et par un atome d'oxygène et un lien carbone-carbone dans le cas des polychlorodibenzofuranes, et dont les atomes d'hydrogène peuvent être remplacés par un nombre d'atomes de chlore allant jusqu'à huit.
2. Dans la présente annexe, la toxicité des polychlorodibenzo- -dioxines et dibenzofuranes est exprimée à l'aide de la notion d'équivalence toxique, qui définit l'activité toxique relative de type dioxine de différents congénères des polychlorodibenzo- -dioxines et dibenzofuranes et des polychlorobiphényles coplanaires par rapport au 2, 3, 7, 8-tétrachlorodibenzo-*p*-dioxine. Les facteurs d'équivalence toxique à utiliser aux fins de la présente Convention doivent être conformes aux normes internationales agréées, à commencer par les facteurs d'équivalence toxique pour les mammifères publiés en 1998 par l'Organisation mondiale pour la santé concernant les polychlorodibenzo- -dioxines et dibenzofuranes et les polychlorobiphényles coplanaires. Les concentrations sont exprimées en équivalence toxique.

Partie V: Directives générales sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales

La présente partie contient des directives générales à l'intention des Parties sur la prévention ou la réduction des rejets des substances chimiques énumérées à la partie I.

A. Mesures générales de prévention concernant aussi bien les meilleures techniques disponibles que les meilleures pratiques environnementales.

Il conviendrait de donner la priorité à l'examen des méthodes permettant de prévenir la formation et le rejet des substances chimiques énumérées à la partie I. Parmi les mesures utiles, on peut citer les suivantes:

- (a) Utilisation d'une technologie produisant peu de déchets;
- (b) Utilisation de substances chimiques moins dangereuses;
- (c) Promotion de la récupération et du recyclage des déchets, ainsi que des substances produites et utilisées dans les procédés appliqués;
- (d) Remplacement des matières de départ qui sont des polluants organiques persistants ou qui présentent un lien direct avec le rejet de polluants organiques persistants de la source;
- (e) Programme de bonne gestion et d'entretien préventif;
- (f) Amélioration des méthodes de gestion des déchets dans le but de mettre fin à leur combustion à ciel ouvert ou sous d'autres formes incontrôlées, y compris

dans les décharges. Lors de l'étude des propositions de construction de nouvelles installations d'élimination des déchets, il conviendrait de prendre en compte des solutions de remplacement telles que les activités visant à réduire au minimum la production de déchets municipaux et médicaux, y compris la récupération des ressources, la réutilisation, le recyclage, la séparation des déchets et la promotion de produits générant moins de déchets. A cet égard, les préoccupations de santé publique devraient être soigneusement prises en compte;

- (g) Réduction au minimum de ces substances chimiques comme contaminants dans les produits;
- (h) Exclusion du chlore élémentaire ou des substances chimiques générant du chlore élémentaire pour le blanchiment.

B. Meilleures techniques disponibles

Le concept de «meilleures techniques disponibles» ne vise pas à prescrire une technique ou une technologie particulière; il tient compte des spécifications techniques de l'installation concernée, de son emplacement géographique et des conditions écologiques locales. Les techniques de contrôle qui conviennent pour réduire les rejets des substances chimiques énumérées à la partie I sont en général les mêmes. Pour déterminer en quoi consistent les meilleures techniques disponibles, il faudrait, de façon générale comme dans les cas particuliers, accorder une attention particulière aux facteurs énumérés ci-après, en ayant à l'esprit les coûts et avantages probables de la mesure envisagée et les considérations de précaution et de prévention:

- (a) Considérations générales:
 - Nature, effets et masse des rejets concernés; les techniques peuvent varier en fonction des dimensions de la source;
 - (ii) Date de mise en service des installations nouvelles ou existantes;
 - (iii) Délai nécessaire pour introduire les meilleures techniques disponibles;
 - (iv) Nature et consommation des matières premières utilisées pour le procédé considéré, et efficacité énergétique de ce procédé;
 - (v) Nécessité de prévenir ou de réduire au minimum l'impact global des rejets dans l'environnement, et les risques pour l'environnement;
 - (vi) Nécessité de prévenir les accidents, et de réduire au minimum les conséquences pour l'environnement;
 - (vii) Nécessité d'assurer la santé des travailleurs et d'assurer leur sécurité sur le lieu de travail;
 - (viii) Procédés, installations ou modes d'exploitation comparables qui ont été testés avec succès à une échelle industrielle;
 - (ix) Progrès de la technique et évolution des connaissances scientifiques.
- (b) Mesures générales de réduction des rejets: lors de l'examen de propositions de construction de nouvelles installations, ou de modification substantielle des installations existantes à l'aide de procédés entraînant des rejets des substances chimiques énumérées à la présente annexe, il faudrait examiner en priorité les

procédés, techniques ou méthodes de remplacement qui présentent la même utilité mais qui évitent la formation et le rejet de ces substances chimiques. Dans les cas de construction ou de modification substantielle de telles installations, outre les mesures de prévention évoquées à la section A de la Partie V, on pourrait envisager les mesures de réduction ci-après pour déterminer les meilleures techniques disponibles:

- (i) Recours à de meilleures méthodes pour le nettoyage des gaz de combustion, telles que l'oxydation thermique ou catalytique, la précipitation des poussières ou l'adsorption.;
- (ii) Traitement des résidus, des eaux usées, des déchets et des boues d'égouts par traitement thermique, traitement les rendant inertes ou procédé chimique les détoxifiant, par exemple;
- (iii) Modification des procédés entraînant une réduction ou une élimination des rejets, telle que le recours à des systèmes en circuit fermé;
- (iv) Modification de la conception des procédés pour améliorer la combustion et empêcher la formation des substances chimiques énumérées dans la présente annexe, grâce au contrôle de paramètres tels que la température d'incinération et le temps de séjour.

C. Meilleures pratiques environnementales

La Conférence des Parties pourra établir des directives au sujet des meilleures pratiques environnementales.

1.E

Lien avec la Convention de Bâle

La Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières des déchets dangereux et leur élimination a été adoptée en 1989, et est entrée en vigueur en 1992. La Convention de Bâle est le second accord mondial, à côté de la Convention de Stockholm, qui est directement lié à l'application des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales sur le contrôle des substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm. La Convention fixe des obligations pour les pays qui en sont Parties, parmi lesquelles, en particulier, le devoir de: réduire la production de déchets dangereux; d'assurer que les installations d'élimination appropriées sont disponibles, et d'assurer une gestion écologiquement rationnelle des déchets.

Le paragraphe 2 de l'article 6 de la Convention de Stockholm, qui vise les mesures pour réduire ou éliminer les rejets des stocks et déchets, comprend les provisions suivantes:

«La Conférence des Parties coopèreront étroitement avec les organes appropriés de la Convention de Bâle sur le Contrôle des Mouvements Transfrontières des Déchets Dangereux et leur Elimination pour, *inter alia*:

- a) établir des niveaux de destruction et de transformation irréversible nécessaires pour assurer que les polluants organiques persistants ne soient pas retrouvés;

- b) déterminer quelles sont les méthodes constituant une élimination écologiquement rationnelle évoquée ci-dessus;
- c) travailler pour établir, selon les besoins, les niveaux de concentration des substances chimiques inscrites aux Annexes A, B et C, afin de pouvoir définir la faible teneur de polluants organiques persistants citée au paragraphe 1 (d) (ii).»³

Lors de la huitième réunion tenue en décembre 2006, la Conférence des Parties à la Convention de Bâle a adopté des directives techniques mises à jour pour la gestion écologiquement rationnelle de déchets composés de, contenant, ou contaminés avec, des polluants organiques persistants; elle a également mis à jour des directives pour la gestion écologiquement rationnelle de déchets composés de, contenant, ou contaminés par des polychlorobiphényles, des terphényles polychlorés ou des poly-bromobiphényles. Les directives techniques générales développées dans le cadre de la Convention de Bâle considèrent la question des trois définitions soulevées au paragraphe 2 de l'Article 6 de la Convention de Stockholm.

En plus, la huitième réunion de la Conférence des Parties à la Convention de Bâle, a également adopté les trois nouvelles directives techniques suivantes:

- des directives techniques pour la gestion écologiquement rationnelle de déchets composés de, contenant, ou contaminés avec, les pesticides: aldrine, chlordane, dieldrine, endrine, heptachlore, hexachlorobenzène, mirex ou toxaphène, ou bien avec l'hexachlorobenzène en tant que produit chimique industriel.
- des directives techniques pour la gestion écologiquement rationnelle de déchets composés de, contenant, ou contaminés avec, le 1, 1,1 trichloro-2,2 bis (chlorophényle) éthane (DDT);
- des directives pour la gestion écologiquement rationnelle de déchets contenant, ou contaminés par des dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD), des dibenzofuranes polychlorés (PCDF), l'hexachlorobenzène ou des polychlorobiphényles produits de manière non intentionnelle.

I.F Lien avec d'autres préoccupations environnementales

Les effets néfastes du mercure et de ces composés sont mondialement connus. Ceci a mené à des prises de décisions sur la nécessité de nouvelles actions et mesures internationales qui réduiront et élimineront les rejets du mercure et de ses composés dans l'environnement. Un certain nombre de sources responsables des rejets de polluants organiques persistants, inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm, peuvent également rejeter des niveaux élevés de mercure dans l'environnement. Des rejets d'autres substances responsables d'une pollution de l'environnement, ou de gaz à effet de serre, sont aussi possibles. Pour tenir compte de ces effets, et lorsque les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales sont

mises en œuvre dans le contexte des rejets de polluants organiques persistants décrits dans ce document d'orientation, les Parties devraient aussi envisager de mettre en œuvre des mesures appropriées pour assurer que les rejets de mercure et d'autres polluants soient réduits au minimum simultanément.

Dans le contexte des définitions de la Convention de Stockholm, spécifiquement par rapport à l'Article 5 et l'Annexe C, le terme «meilleures pratiques environnementales» veut dire l'application de combinaisons les plus appropriées, de mesures et de stratégies pour le contrôle de la pollution environnementale, tandis que le terme «meilleur» est défini comme étant le moyen le plus efficace permettant d'atteindre un haut niveau de protection de l'environnement dans son ensemble.

Des efforts devront être faits pour éviter d'accroître le rejet d'autres polluants lorsque les rejets des polluants organiques persistants sont réduits.

- ¹ Les lignes directrices provisoires sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales, en liaison avec l'Article 5 de l'Annexe C de la Convention, ont été développées par le Groupe d'Expert sur les Meilleures Techniques Disponibles et les Meilleures Pratiques Environnementales établies à cette fin par le 6^e session du Comité Intergouvernemental de Négociation pour un Outil International Juridiquement Contraignant pour la Mise en Œuvre d'Actions Internationales sur Certains Polluants Organiques Persistants (voir: UNEP/POPS/INC.6/22, paragraphe 75).
- ² 1 pg (picogramme) = 1×10^{-15} kilogramme (1×10^{-12} gramme)
- ³ Il est mentionné à l'article 6, paragraphe 1 (d) (ii) de la Convention de Stockholm que chaque Partie: «(d) Prend des mesures appropriées pour s'assurer que les déchets, y compris les produits et articles une fois réduits à l'état de déchets..... (ii) sont éliminés de manière à ce que les polluants organiques persistants qu'ils contiennent soient détruits ou irréversiblement transformés, de telle sorte qu'ils ne présentent plus les caractéristiques de polluants organiques persistants, ou autrement éliminés d'une manière écologiquement rationnelle lorsque la destruction ou la transformation irréversible ne constitue pas l'option préférable du point de vue écologique ou la teneur en polluants organiques persistants est faible, compte tenu des règles, normes et directives internationales, y compris celles qui pourraient être élaborées conformément au paragraphe 2, et des régimes régionaux et mondiaux pertinents régissant la gestion des déchets dangereux.»

Section II

Considération d'Alternatives dans l'Application des
Meilleures Techniques Disponibles

II.A

Considération d'alternatives dans la Convention de Stockholm

La Convention de Stockholm fournit des conseils généraux sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales et les Parties sont encouragées à considérer en priorité les approches qui évitent la formation et le rejet des produits chimiques inscrits à la Partie 1 de l'Annexe C de la Convention.⁴ La Convention examine la «considération d'alternatives» avec une référence particulière aux meilleures techniques disponibles, comme suit:

«Lors de l'examen de propositions pour la construction de nouvelles installations ou de modifications substantielles des installations existantes à l'aide de procédés entraînant des rejets des substances chimiques énumérées à la présente annexe, il faudra examiner en priorité les procédés, techniques ou méthodes de remplacement qui présente la même utilité mais qui évitent la formation et le rejet de ces substances chimiques.»⁵

II.B

La Convention de Stockholm et les sources nouvelles

Les Parties sont tenues à demander l'application des meilleures techniques disponibles pour de nouvelles installations dans une catégorie de sources qu'une Partie aura identifiée comme méritant une telle action dans son plan d'action. Le premier effort devra porter sur les catégories des sources identifiées à la Partie II de l'Annexe C de la Convention⁶.

Lorsqu'une Partie met en œuvre cette obligation, il faut qu'elle s'assure que la priorité soit donnée à des procédés, techniques ou pratiques alternatifs qui ont une utilité comparable mais qui évitent la formation et le rejet de produits inscrits à la Partie I de l'Annexe C.

A cet égard, la Convention de Stockholm est ambitieuse. Elle encourage la recherche de procédés, techniques, et pratiques qui évitent la génération et le rejet de polluant organiques persistants, et encourage les Parties à accorder une priorité à ceux-ci. Cependant on ne devrait pas interpréter ces provisions comme une interdiction d'éviter les installations qui ont le potentiel de former et de rejeter les substances chimiques inscrites à l'Annexe C vers l'environnement, telles que celles listées dans les Parties II et III de l'Annexe C. Une élimination complète des procédés visés n'est peut-être pas possible ni faisable. Les sources données dans les Parties II et III de l'Annexe C ont une utilité certaine, malgré leur potentiel pour former et rejeter des polluants organiques persistants.

Un facteur clef pour décider s'il est mieux d'éviter une source de la Partie II, une source de la Partie III ou une autre source ayant une priorité, est la considération à la fois de l'installation proposée initialement, et des alternatives possibles, en tenant compte de la faisabilité des diverses options à l'étude.

II.C Une approche à la considération d'alternatives

Lors qu'une Partie souhaite adopter les meilleures techniques disponibles pour une nouvelle source de produits chimiques inscrits à l'Annexe C, les décideurs sont encouragés à vérifier que l'on considère aussi des alternatives qui évitent la formation et le rejet de tels produits. Ce faisant, ils devront procéder à une comparaison du procédé proposé, des alternatives disponibles et de la réglementation en vigueur en utilisant ce qu'on peut appeler une liste de vérification (*checklist*), en n'oubliant pas le contexte global de développement durable, et en prenant en compte des facteurs comme l'environnement, la santé, la sécurité ainsi que le contexte socio-économique.

Les éléments suivants pourront être retenus dans cette approche:

1. Etude de la nouvelle installation proposée dans le contexte du développement durable

Les décideurs devront procéder à une étude détaillée de la proposition de construire une nouvelle unité, et des alternatives possibles dans le contexte des plans du pays pour le développement durable. Le but d'un tel examen est de permettre aux décideurs de mieux comprendre l'installation proposée et son utilité attendue en fonction de considérations sociales, économiques et environnementales, ainsi que sa contribution potentielle au développement durable. Ils devront aussi passer en revue la disponibilité des mesures générales pour réduire les rejets de substances chimiques inscrites à l'Annexe C, telles que les mesures données dans l'Annexe C, Partie V, section B, sous-paragraphe (b), points (i) à (iv), ainsi que de la possibilité pratique de les mettre en œuvre.

2. Identification d'alternatives possibles et disponibles

Un effort devra être fait pour identifier des procédés, techniques ou pratiques alternatifs ayant une utilité similaire, mais qui évitent la formation et le rejet de substances chimiques inscrites à l'Annexe C. On devra tenir compte des conseils et recommandations disponibles qui donnent des options pour ces procédés, techniques et pratiques (par ex. les directives de la Convention de Bâle, de l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS), de la FAO et d'autres organisations inter-gouvernementales et les gouvernements).

Afin d'assister les Parties à identifier des alternatives qui sont possibles, disponibles et appropriées, le Secrétariat de la Convention devra, en jouant son rôle d'un centre d'échange d'information selon le mandat confié au titre de l'Article 9, produire, gérer, et faciliter un catalogue de procédés, techniques ou pratiques disponibles qui évitent la formation et le rejet vers l'environnement de substances chimiques inscrites à l'Annexe C, et qui pourraient être utilisés en tant qu'alternatives appropriées aux procédés et installations qui effectivement produisent de tels substances chimiques.

Le développement et l'entretien de cet aspect du centre d'échange d'information doivent:

- Etre faits d'une manière transparente;
- Etre constamment mis à jour;
- Fournir de l'information que les Parties pourront utiliser d'une manière qui tient complètement compte les situations particulières des pays en voie de développement, et quelques pays à économie en transition;
- Fournir de l'information pour que les Parties puissent prendre en compte des différences régionales, les aidant à se focaliser sur le développement durable, à la lumière de facteurs écologiques, de santé, de la sécurité et socio-économiques.

3. Entreprendre une évaluation comparative des alternatives possibles et disponibles, qui sont proposées et identifiées

Après l'identification d'alternatives possibles et disponibles, les décideurs devront procéder à des évaluations comparatives des diverses options, c'est-à-dire l'installation neuve initialement proposée, ainsi que de toutes les alternatives qui pourraient être à l'étude. Dans quelques cas, et pour certains types d'installations, il pourrait être plus approprié que ce type d'évaluation comparative soit fait par les autorités locales ou au niveau du district. Cependant dans de nombreux cas il sera plus approprié, du point de vue du développement durable, de faire faire l'évaluation comparative à un autre niveau stratégique ou politique. En faisant cette évaluation comparative il faudra prendre en compte divers points de la liste indicative contenue dans l'Annexe F⁷ (Informations se rapportant aux Considérations Socio-économiques); aussi les critères correspondants de l'Annexe C, Partie V, sections A et B.

4. Considération des priorités

Une alternative qui est proposée devrait recevoir la priorité sur d'autres options, y compris celle concernant l'installation proposée en premier si, en se basant sur l'évaluation comparative décrite dans la sous section 3 ci-dessus, et en utilisant des considérations et critères donnés dans la Convention, Annexe F et Annexe C, une alternative identifiée et disponible est considérée comme ayant les avantages suivants:

- Evite la formation et le rejet de substances chimiques inscrites à l'Annexe C;
- Possède une utilité similaire;
- S'intègre assez bien dans les plans du pays pour le développement durable, en tenant compte d'une intégration effective des facteurs sociaux, écologiques, de santé, et de sécurité.

1. Considérations sur la santé, la sécurité et l'environnement

L'Article 1 de la Convention dit que: «l'objectif de cette Convention est de protéger la santé humaine et l'environnement des polluants organiques persistants». En effectuant des évaluations comparatives d'installations proposées initialement et des alternatives possibles et disponibles (comme à la section II.C, sous section 3 des présentes directives), on devrait tenir compte avec soin des aspects touchant à la santé, à la sécurité et à l'environnement.

Les impacts sur la santé, la sécurité et l'environnement de l'alternative proposée, devront être comparés avec les impacts correspondants de l'installation initialement prévue. Le résultat de cette comparaison devrait constituer un facteur important pour la considération de «l'utilité similaire» et pour la détermination de la viabilité et de la faisabilité du projet.

2. Considérations sociales et économiques

L'Annexe F de la Convention de Stockholm considère les informations pertinentes qui concernent les aspects socio-économiques associés à des mesures de contrôle possibles, pour permettre la prise de décisions par la Conférence des Parties. Cependant il représente aussi un point de départ pour une liste utile de considérations et de critères sociaux et économiques, que les autorités peuvent utiliser en effectuant des évaluations comparatives des installations initialement proposées et en identifiant des alternatives possibles et disponibles. Il est fortement recommandé de développer une liste de points à vérifier, spécifique au pays; cette liste devra inclure les points suivants, dont plusieurs sont inclus dans l'Annexe F de la Convention.:

- Faisabilité technique;
- Coûts, y compris les coûts pour l'environnement et la santé;
- Efficacité des coûts;
- Efficacité (capacité de l'infrastructure, y compris accès à du personnel bien formé);
- Risque;
- Disponibilité;
- Accessibilité;
- Facilité de collaborer avec l'opérateur;

- Impacts positifs ou négatifs sur la société, y compris la santé (du public, de l'environnement et du travail); agriculture (y compris l'aquaculture et la sylviculture); techniques et/ou connaissances locales et traditionnelles; biodiversité; aspects économiques; mouvement vers un développement durable; et coûts sociaux.

Dans beaucoup de cas, une installation nouvelle proposée peut être susceptible d'apporter une contribution au développement économique d'un pays, et aux plans de réduction de la pauvreté. La mise en œuvre correcte de la Convention de Stockholm ne devrait pas interférer de manière significative avec ce potentiel. Plutôt, si elle est bien appliquée, la Convention de Stockholm devrait contribuer de manière positive au développement durable et à la réduction de la pauvreté.

La Convention⁸ prévoit que les Parties qui sont des pays en voie de développement et d'autres qui ont une économie en transition auront accès à de nouvelles ressources additionnelles pour leur permettre de financer les coûts complets incrémentaux accordés pour la mise en œuvre de mesures qui répondent à leurs obligations liées à la Convention. Donc, dans la mesure où une Partie est obligée d'appliquer les meilleures techniques disponibles dans des conditions qui sont bien définies par la Convention, cette Partie devra pouvoir recevoir les coûts totaux incrémentaux qui ont été accordés en vue de la mise en œuvre de cette obligation.

Dans certains cas, des alternatives appropriées aux sources proposées de produits chimiques inscrits à l'Annexe C entraînent des coûts plus faibles au niveau de l'achat d'équipement, et utilisent plutôt des sources de main d'œuvre local, en s'appuyant sur des connaissances locales. De telles alternatives pourraient éviter la formation et le rejet de substances inscrites à l'Annexe C, s'adapter bien aux plans nationaux de développement durable, et répondre aussi bien ou mieux aux besoins du pays que l'installation proposée initialement.

Finalement, toutes les obligations découlant de la Convention contribuent aux objectifs de la Convention: de protéger la santé publique et l'environnement, des effets des substances chimiques inscrites à l'Annexe C.⁹ La Convention reconnaît dans son préambule¹⁰:» les préoccupations sanitaires, notamment dans les pays en voie de développement, suscité par l'exposition au niveau local à des polluants organiques persistants, en particulier l'exposition des femmes et, à travers elles, celles des générations futures». En minimisant les rejets de produits chimiques inscrits à l'Annexe C, en tant que partie d'un processus robuste et équilibré de développement durable, une mise en œuvre correcte de la Convention de Stockholm peut réduire les charges que représentent les maladies et des états de santé insuffisants, qui réduisent les efforts faits en vue d'un développement durable et d'une diminution de la pauvreté.

3. Considérations de l'Annexe C

En appliquant les directives présentées ici, il faut tenir compte de toutes les sections pertinentes de l'Annexe C, Partie V, sections A et B.

- ⁴ Voir Convention de Stockholm, Annexe C, Partie V, section A, chapeau.
- ⁵ Voir Convention de Stockholm, Annexe C, Partie V, section B, sous-paragraphe (b).
- ⁶ Voir Convention de Stockholm, Article 5 (d)
- ⁷ La liste des sujets fournis dans l'Annexe F de la Convention pour les produits chimiques en évaluation sous l'Article 8 (liste des produits chimiques dans les Annexes A, B et C) est aussi pertinente pour l'évaluation comparative
- ⁸ Voir convention de Stockholm, Article 13.2
- ⁹ Voir Convention de Stockholm, Article 1
- ¹⁰ Voir Convention de Stockholm, page 2

Section III

**Meilleures techniques disponibles et meilleures pratiques environnementales:
Directives, principes et considérations croisées**

1. Considérations générales

L'Article 5 de la Convention de Stockholm demande que les Parties développent, dans les deux années après l'entrée en vigueur pour eux, un plan d'action pour identifier, caractériser et gérer les substances chimiques inscrites à l'Annexe C. Actuellement inscrits se trouvent les dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD), les dibenzofuranes polychlorés (PCDF) ainsi que l'hexachlorobenzène (HCB) et les polychlorobiphényles (PCB) lorsqu'ils sont produits de manière non intentionnelle.

Le plan d'action, qui devra faire partie du plan national de mise en œuvre, à être élaboré conformément à l'Article 7 de la Convention, et comprendra des stratégies pour répondre aux obligations de réduire ou d'éliminer des rejets de substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm, ainsi qu'un calendrier pour le plan d'action. Le plan définira les priorités pour les actions, y compris pour les catégories de sources qui présentent les opportunités les plus attractives sur le plan du coût/performance pour la réduction des rejets ou leur élimination. Il comprendra également un inventaire des rejets de substances chimiques inscrites à l'Annexe C.

En concordance avec le calendrier prévu pour la mise en œuvre du plan d'action, et en tenant compte des directives qui sont à adopter par la Conférence des Parties, les Parties doivent encourager, et dans certains cas exiger, l'utilisation de meilleures techniques disponibles, et encourager l'utilisation des meilleures pratiques environnementales pour chaque source identifiée de rejet. Les Parties devront également encourager le développement et, lorsque cela est approprié, exiger l'utilisation de matériaux ou de procédés de substitution afin d'éviter la formation et le rejet des substances chimiques inscrites à l'Annexe C.

2. Questions politiques, juridiques et de gouvernance

L'approche qu'adoptera un gouvernement pour encourager ou exiger l'utilisation de meilleures techniques disponibles et de meilleures pratiques environnementales, pourra varier d'un pays à l'autre, suivant sa structure juridique et sa situation socio-économique. Des stratégies d'application possibles pourraient inclure la communication des estimations de rejets, des programmes d'information et d'éducation pour le grand public, des programmes industriels volontaires, des outils économiques et de réglementation. Ces questions devront être prises en compte dans le plan d'action national de la Partie.

Les types de mesures qui pourraient être encouragés ou exigés, tels que les meilleures techniques disponibles pour réduire ou éviter le rejet de substances chimiques inscrites à l'Annexe C, peuvent être classés comme suit: mouvement vers des procédés de substitution; mesures primaires qui empêchent la formation de substances chimiques

inscrites à l'Annexe C; et mesures secondaires qui contrôlent et réduisent le rejet de ces substances chimiques.

3. Questions scientifiques et techniques

L'état des sciences, par rapport à la fois à la mesure des rejets et des concentrations dans l'environnement de substances chimiques inscrites à l'Annexe C, et aussi à ce qui est considéré comme les «meilleures» techniques disponibles et les «meilleures» pratiques environnementales, va progresser avec le temps. Ces directives seront donc continuellement mises à jour pour tenir compte de ces changements.

La Convention utilise le terme «meilleur» dans le sens des «meilleures technologies pour atteindre un niveau général élevé de protection de l'environnement dans son ensemble» (voir sous paragraphe (f) (iv) de l'Article 5).

Pour être en conformité avec la décision SC-1/15 de la Conférence des Parties de la Convention de Stockholm, des efforts devront être faits pour s'assurer que des mécanismes soient mis en place pour fournir de l'assistance technique et pour encourager le transfert de technologie. Un cas particulier est celui des Parties qui ne disposent pas à l'heure actuelle d'un accès aux techniques qui sont couvertes par des droits de propriété intellectuelle.

Ces directives devront être prises en compte, et une Partie peut utiliser les niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales pour les rejets de PCDD/PCDF, en vue de remplir ses obligations à adopter les meilleures techniques disponibles. Chaque Partie a le devoir juridique d'établir ses limites de rejet réglementaires, basées sur ces directives.

4. Implications économiques et sociales

Selon le procédé qui pourrait être une source de substances chimiques inscrites à l'Annexe C, les conditions économiques et sociales dans un pays contribueront à déterminer quelles sont les «meilleures» techniques disponibles et les «meilleures» pratiques environnementales. Pour les procédés à assez grande échelle, faisant appel à de gros investissements et fonctionnant en continu (par exemple, des fours à ciment brûlant des déchets dangereux, des installations de frittage dans l'industrie du fer et de l'acier, des centrales aux combustibles fossiles), les technologies et pratiques utilisées, ainsi que les entreprises qui les gèrent, sont assez similaires à travers le monde. Dans de tels cas, les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales peuvent être appliquées de la même manière dans tout les pays. Lorsque les installations sont relativement plus petites (fours crémateurs, chauffage et cuisines domestiques, chaudières industrielles, véhicules à moteurs) ou impliquent la gestion de déchets à plus petite échelle (incinération de déchets, brûlage à l'air libre), les technologies et pratiques peuvent varier d'un pays à un autre. Dans ces cas, pour déterminer lesquelles sont les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales il faudra effectuer une analyse de la faisabilité économique

des diverses options possibles. Alors «meilleur» pourra vouloir dire la meilleure option qui est économiquement acceptable dans les conditions socio-économiques qui prévalent.

5. Nouvelles sources comparées aux sources existantes

Pour les nouvelles sources de substances chimiques à l'intérieur des catégories de sources qui justifient l'utilisation de meilleures techniques disponibles, telles qu'identifiées dans leur plan d'action national, les Parties devront se focaliser initialement sur les catégories de sources identifiées dans la Partie II de l'Annexe C. Les Parties introduiront graduellement les meilleures techniques disponibles pour les nouvelles sources dans les catégories dans la Partie II de l'Annexe C aussi rapidement que cela est possible, mais pas plus tard que quatre ans après l'entrée en vigueur de la Convention dans ce pays. Pour les catégories de sources qui sont identifiées dans les plans d'action comme justifiant l'utilisation de meilleures techniques disponibles, ces dernières sont à encourager. L'utilisation des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales est à promouvoir pour les nouvelles sources qui ne justifient pas d'initiatives dans le plan d'action de la Partie.

L'utilisation de meilleures techniques disponibles et de meilleures pratiques environnementales est une garantie que les rejets de substances chimiques inscrites à l'Annexe C seront réduits au minimum. On pourra aussi prendre en considération de telles techniques et pratiques dans la conception et l'opération de l'installation, à un point où elles peuvent être incorporées avec un bon rapport coût/efficacité. A cause de la grande gamme d'activités industrielles et d'autres qui sont en jeu, la stratégie nationale pour un développement durable devra tenir compte de la nécessité d'assurer que les investissements faits pour l'économie nationale du pays sont en conformité avec ces directives et conseils.

L'utilisation de meilleures techniques disponibles et de meilleures pratiques environnementales pour des sources existantes, qui auront été identifiées dans le plan d'action d'une Partie, sera encouragée en conformité avec le plan d'action de la Partie.

La gestion de sources existantes représente une bonne opportunité pour une Partie de réduire l'ensemble des rejets. En considérant les sources prioritaires identifiées dans son plan d'action national, une Partie devra examiner les modifications à apporter au procédé, ou aux pratiques de gestion, qui pourraient permettre d'atteindre les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales. De telles modifications pourraient être introduites graduellement et pourraient faire partie d'un plan de modernisation d'une installation.

En appliquant ces directives et conseils aux sources de substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm, les Parties pourront estimer utile de considérer quelques principes généraux de gestion et d'approches écologiques, qui pourraient aller dans le sens de la Convention. Ce qui suit est indicatif de certains de ces principes et approches, dans la gestion de l'environnement.

1. **Le développement durable.** «Un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité de générations futures à subvenir à leurs propres besoins.»¹¹

2. **La consommation durable.** «L'utilisation de services et des produits associés qui répondent aux nécessités de base, et qui apportent une qualité de vie améliorée toute en minimisant l'utilisation de ressources naturelles et de matériaux toxiques, aussi bien que les émissions de déchets et de polluants tout le long de la durée de vie du service, ou du produit, pour ne pas mettre en danger les besoins des générations futures.»¹²

3. **Développement et mise en œuvre de systèmes de gestion de l'environnement.** «Une approche structurée pour définir, mettre en œuvre et évaluer la politique environnementale, par l'utilisation d'un système qui comprend une structure organisationnelle, des responsabilités, des pratiques, des procédures, des procédés et des ressources.»¹³

4. **Utilisation des sciences, des technologies et des connaissances locales pour soutenir les décisions environnementales.** «Augmenter l'utilisation des connaissances scientifiques et des technologies, et utiliser davantage de manière bénéfique les connaissances locales et autochtones, en respectant ceux et celles qui détiennent ces connaissances, et en respectant les lois nationales,» et «Etablir des partenariats entre des institutions scientifiques, publiques et privées, en y intégrant les avis de scientifiques dans les groupes responsables de prise de décision, afin d'assurer une participation plus importante des secteurs scientifiques, technologiques, du développement et de l'ingénierie.»¹⁴

5. **Approche de précaution.** «Afin de protéger l'environnement, l'approche de précaution sera largement utilisée par les Etats en fonction de leurs capacités. Lorsqu'il existe des menaces de dommages sérieux ou irréversibles, un manque de connaissances scientifiques ne sera pas avancé comme raison pour remettre à plus tard l'application de mesures à bon rapport coût/performance, pour éviter une dégradation de l'environnement»¹⁵

6. **Internationalisation des coûts environnementaux et du principe «pollueur/payeur».** «Les autorités nationales devront tout faire pour encourager l'internationalisation des coûts environnementaux et l'utilisation d'outils économiques, en tenant compte du principe que le pollueur devrait, en principe, subir le coût de la pollution, compte tenu de l'intérêt du public, et sans déformer le commerce et les investissements internationaux.»¹⁶

7. **Prévention de la pollution.** «L'utilisation de procédés, de pratiques, de matériaux, de produits ou d'énergies qui minimisent la création de polluants et de déchets, et qui réduisent le risque global à la santé humaine et à l'environnement.»¹⁷

8. **Prévention et contrôle intégré de la pollution.** «Ce principe vise à atteindre une prévention et un contrôle de la pollution créée par les activités industrielles à grande échelle. Il fixe des mesures destinées à prévenir ou, lorsque ceci n'est pas praticable, à réduire les émissions dans l'air, l'eau et le sol découlant de ces activités, y compris des mesures relatives aux déchets, afin d'atteindre un haut niveau de protection de l'environnement dans son ensemble.»¹⁸

9. **Avantages co-latéraux du contrôle d'autres polluants.** Par exemple, la prévention et le contrôle de la pollution due à d'autres contaminants, peuvent aussi contribuer à la réduction et à l'élimination de substances chimiques inscrites à l'Annexe C.

10. **Production plus propre.** «L'application en continu d'une stratégie intégrée pour la protection de l'environnement, aux procédés, aux produits et aux services afin d'augmenter l'efficacité globale et de réduire les risques pour l'homme et l'environnement. La production propre peut être appliqué à toutes les industries, aux produits eux-mêmes et aux divers services qui sont proposés dans la société.»¹⁹

11. **Analyse du cycle de vie.** «Une approche tournée vers les systèmes qui permet d'estimer les inventaires environnementaux (par ex., génération de déchets, émissions et rejets) et les utilisations d'énergie et de ressources associées à un produit, procédé ou opération à travers toute son cycle de vie.»²⁰

12. **Gestion du cycle de vie.** «Un concept intégré pour la gestion de l'ensemble de la durée de vie de produits et services permettant une production et une consommation plus durables, se basant sur les outils existants d'évaluation environnementale pour les procédures et les analyses, tout en intégrant les aspects économiques, sociaux et environnementaux.»²¹

13. **Élimination virtuelle.** «La réduction ultime de la quantité ou de la concentration de la substance toxique présente dans une émission, un effluent, ou un déchet rejeté vers l'environnement en dessous d'un niveau précisé de quantification. Le terme «niveau de quantification» veut dire, pour une substance, la concentration la plus faible qui peut être mesurée en utilisant des méthodes de prélèvement et d'analyse sensibles, mais de routine.»²²

14. **Droit à savoir de la communauté.** «Dans le domaine de l'environnement, un accès amélioré à l'information ainsi qu'une participation du publique dans le processus de prise de décision, contribuent à une prise de conscience du public aux questions touchant à l'environnement, fournissent à la population l'occasion d'exprimer ces préoccupations, et permettent aux autorités publiques de prendre en compte de telles préoccupations.»²³

(i) Produits chimiques de l'Annexe C: mécanismes de formation

1. Formation de produits chimiques inscrits à l'Annexe C: vue d'ensemble

Les polychlorodibenzo-*p*-dioxines (PCDD), les polychlorodibenzofuranes (PCDF), les polychlorobiphényles (PCB) et les hexachlorobenzènes (HCB) sont formés de manière non intentionnelle lors des procédés industriels chimiques, tels que la fabrication de produits chimiques, et lors des procédés thermiques, comme l'incinération de déchets. Les PCDD/PCDF sont les seuls polluants organiques persistants, en tant que sous-produits, dont le mécanisme de formation a été étudié de manière approfondie dans le contexte de procédés impliquant une combustion et, dans une moindre mesure, de procédés où la combustion n'intervient pas; cependant les mécanismes et les conditions exactes de la formation de ces substances ne sont pas totalement compris. Il est clair que le mécanisme ou chemin réactionnel prédominant pour ces substances peut varier d'un procédé à un autre de telle manière à ce que ce sont différents facteurs qui peuvent contrôler la réaction, et qu'il n'y ait aucun facteur prédominant de contrôle.

Il y a beaucoup moins d'informations disponibles au niveau de la formation des PCB et des HCB, surtout dans les procédés de combustion. Comme il y a des similitudes dans la structure et dans les conditions d'existence des PCDD/PCDF, PCB et HCB, il est couramment admis, à l'exception des espèces contenant de l'oxygène, que les paramètres et facteurs qui favorisent la formation de PCDD/PCDF favorisent aussi la formation des PCB et du HCB.

D'un autre côté, dans quelques procédés industriels, le HCB est davantage formé que les PCDD/PCDF ou les PCB. Les sections V et VI concernant les directives sur différents types d'incinération et procédés chimiques, contiennent davantage d'informations spécifiques sur quelques procédés sélectionnés et sur la formation de sous-produits.

2. Formation de PCDD/PCDF

2.1 Procédés thermiques²⁴

Il est nécessaire qu'il ait présence de carbone, d'oxygène, d'hydrogène et de chlore, que ce soit sous forme élémentaire, organique ou minérale. A un moment dans le procédé de synthèse, le carbone doit avoir une structure aromatique, que cela soit sous forme de précurseur ou bien générée par une réaction chimique.

Il existe deux voies par lesquelles ces composés peuvent être synthétisés: à partir de précurseurs tels que des phénols chlorés, ou par des synthèses *de novo* à partir de

structures carbonées dans les cendres volantes, le charbon actif, la suie ou de plus petites molécules provenant d'une combustion incomplète. Dans de mauvaises conditions de combustion, des PCDD/PCDF peuvent être formés pendant le procédé de combustion lui-même.

Le mécanisme associé à la synthèse peut être homogène (les molécules réagissant toutes en phase gazeuse ou en phase solide), ou hétérogène (comprenant des réactions de molécules en phase gazeuse avec des surfaces).

Les PCDD/PCDF peuvent aussi être détruits lors d'une incinération à température appropriée, pendant un temps de résidence suffisant, et avec un bon mélange des gaz de combustion et de déchets, ou de matières premières, présents comme combustible. Une bonne combustion suppose le respect de la règle des «3T»: temps de résidence, température, turbulence. Il est nécessaire d'assurer une trempe rapide ou d'appliquer d'autres procédés connus pour empêcher cette reformation.

Les variables connues pour avoir un effet sur la formation thermique des PCDD/PCDF incluent:

- Technologie: la formation de PCDD/PCDF peut avoir lieu soit lors d'une combustion insuffisante, soit dans des chambres de post-combustion et dans des appareils de contrôle de la pollution de l'air mal gérés. La technique de combustion peut varier du très simple et très insuffisante, comme le brûlage à l'air libre, au très complexe et perfectionnée, comme dans le cas des incinérations faisant appel aux meilleures techniques disponibles;
- Température: la formation de PCDD/PCDF dans la zone de post-combustion, ou dans les appareils de contrôle de la pollution d'air, a été observée dans une fourchette de température de 200°C à 450°C, avec un maximum à 300°C;
- Métaux: le cuivre, fer, zinc, aluminium, chrome et manganèse sont connus pour catalyser la formation, la chloration et la déchloration des PCDD/PCDF.
- Soufre et azote: le soufre et quelques produits chimiques contenant de l'azote inhibent la formation de PCDD/PCDF mais peuvent provoquer l'apparition d'autres produits inattendus.
- Le chlore doit être présent sous forme élémentaire, organique ou minérale. Sa présence dans les cendres volantes, ou sous une forme élémentaire dans la phase gazeuse, peut être particulièrement importante.
- Les PCB sont aussi des précurseurs pour les PCDD/PCDF.

Des recherches ont montré que d'autres variables, et combinaisons de conditions, sont également importantes.

2.2 Procédés chimiques industriels

Comme dans le cas des procédés thermiques, le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et le chlore sont nécessaires. La formation de PCDD/PCDF dans les procédés chimiques est considérée comme étant favorisée par une ou plusieurs des conditions suivantes:

- Températures élevées (>150°C);
- Conditions alcalines;
- Catalyseurs métalliques;
- Radiation ultraviolette (UV) ou autres précurseurs de radicaux.

Dans la production de substances chimiques contenant du chlore, la tendance à la formation de

PCDD/PCDF a été notée ainsi:

Chlorophénols > chlorobenzènes > aliphatiques chlorés > inorganiques chlorés

(ii) Considérations sur la gestion des déchets

1. Résumé

L'incinération des déchets présente un potentiel relativement élevé pour la formation, et le rejet non intentionnels dans l'environnement, de polluants organiques persistants. Les incinérateurs de déchets sont donc inclus dans la liste des catégories de sources Partie II de l'Annexe C de la Convention de Stockholm. Le brûlage à l'air libre de déchets, y compris le brûlage dans des décharges, peut aussi mener à la formation et au rejet non intentionnel de polluants organiques persistants, et fait partie de la liste, en tant que source des catégories Partie III dans l'Annexe C. L'application des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales à ces sources, devrait prendre en considération les pratiques de gestion écologiquement rationnelle des déchets. La gestion écologiquement rationnelle des déchets réduit le rejet de polluants organiques persistants, et est aussi un facteur important aidant à éviter des problèmes liés à la santé humaine, et encourageant aussi une utilisation durable des ressources.

Parmi des principes importants applicables à la prévention et la réduction des déchets on trouve le principe de la réduction à la source, le principe du cycle de vie intégré, et le principe de la récupération des composants réutilisables et recyclables, autant que cela soit possible. Dans beaucoup de cas, ceci sera facilité par une séparation à la source des déchets qui peuvent être compostés, réutilisés ou recyclés. Les déchets qui restent devront être traités et éliminés d'une manière écologiquement rationnelle. Des solutions éprouvées pour toutes les étapes – le système de collection, les actions de recyclage, et l'élimination finale – devront être adaptées aux conditions locales, en tenant compte de facteurs tels que les opportunités pour éviter les déchets, la composition des déchets, les procédés disponibles pour le recyclage, les structures existantes, et les aspects financiers, économiques et sociaux.

En général, il faudra accorder une priorité aux approches qui évitent la formation et le rejet de substances inscrites à l'Annexe C de la Convention. On devra utiliser des approches améliorées de gestion de déchets dans le but d'éviter le brûlage non contrôlé à l'air libre, ou toute autre méthode, y compris le brûlage dans des sites

d'enfouissement. En considérant des propositions pour la construction de nouvelles installations d'élimination de déchets, il faudra prendre en compte des alternatives telles que des activités visant à minimiser la génération de déchets municipaux et médicaux, y compris la récupération de ressources, la réutilisation, le recyclage, la séparation des déchets et la promotion de produits générant moins de déchets. Dans cette approche, la question de la santé de la population doit être prise en considération tout particulièrement.

Cette section traite de ces sujets mais il ne peut remplacer un examen compréhensif de toutes les questions spécifiques liées à la gestion des déchets.

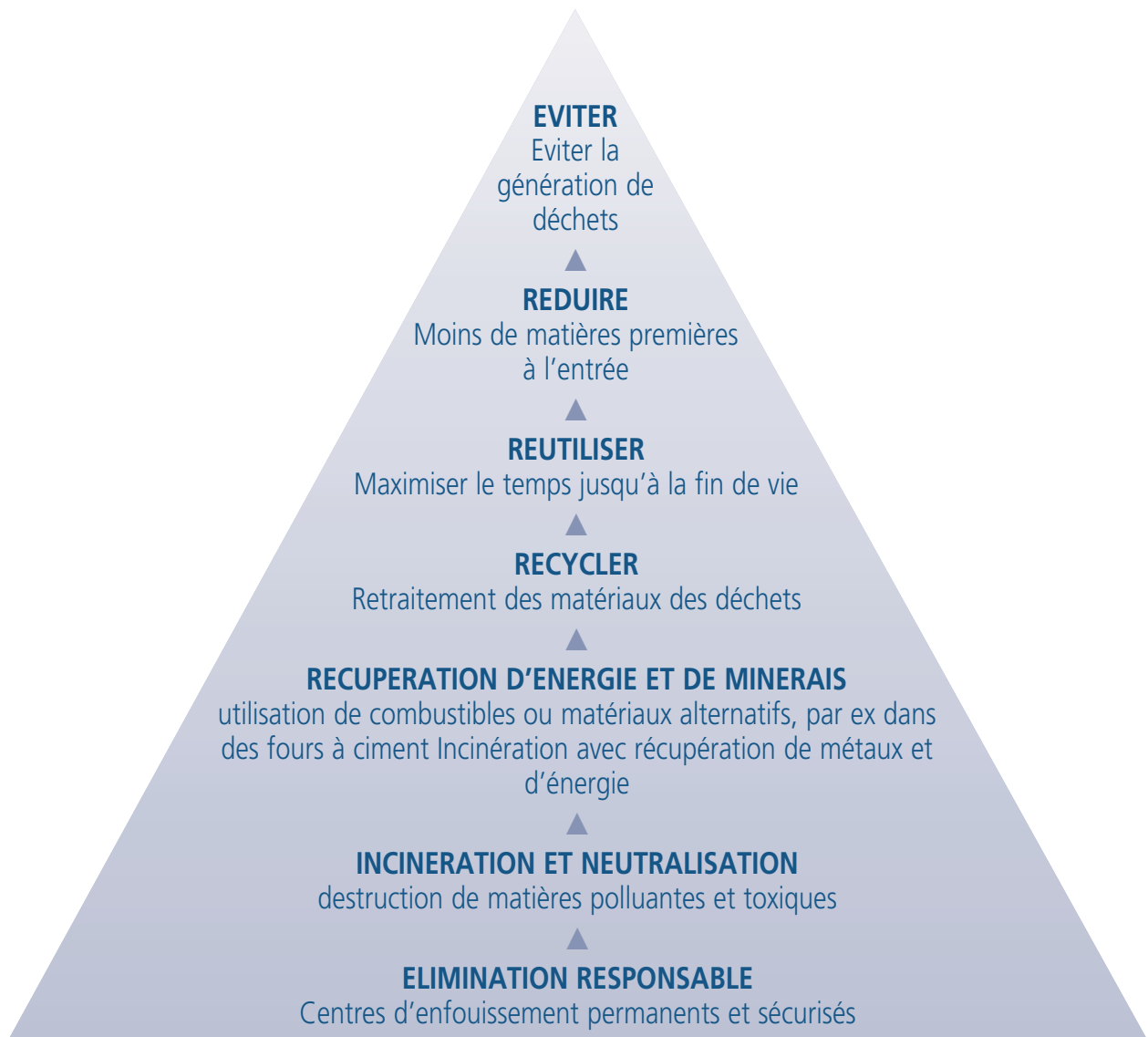
2. Introduction

2.1 L'importance de la gestion des déchets pour l'environnement et la santé

Une bonne gestion des déchets est un élément important dans la protection de la santé du public et de l'environnement. Elle contribue également à éviter la perte de ressources. Une mise en décharge mal exécutée peut mener à une pollution des cours d'eau; le brûlage des déchets dans les décharges ou dans des incinérateurs non appropriés, ou encore le brûlage à l'air libre, peuvent mener au rejet de quantités importantes de substances inscrites à l'Annexe C, ainsi que d'autres substances toxiques telles que des hydrocarbures cycliques aromatiques, des métaux lourds et des poussières. Pour cette raison, une approche holistique à l'amélioration le système de gestion de déchets aura un impact positif dans un certain nombre de secteurs.

La gestion des déchets implique des interventions à plusieurs niveaux. En premier lieu, des efforts pour éviter et réduire les déchets aideront à minimiser les quantités générées et les risques qu'ils représentent. Dans les procédés industriels, le développement et l'utilisation de technologies à faible taux de déchets, ou sans déchets, ont eu un effet positif sur la diminution de déchets nécessitant un traitement. En mettant plus l'accent sur la responsabilité au niveau du produit, on peut contribuer à résoudre, ou au moins à réduire, les problèmes de gestion de déchets (voir figure 1).

■ **Figure 1: Hiérarchie de la gestion des déchets**



2.2 Définitions

La Convention de Bâle sur le Contrôle des Mouvements Transfrontières des Déchets Dangereux et leur Elimination donne les définitions suivantes pour les déchets en général:

«Les déchets sont des substances ou objets qu'on élimine, ou qu'on a l'intention d'éliminer, ou bien qu'on doit éliminer, pour respecter des dispositions de la législation nationale.»

La Convention de Bâle définit «élimination» comme des opérations qui peuvent mener, ou ne pas mener, à la possibilité de «récupération de la ressource, recyclage, récupération, réutilisation directe ou utilisations alternatives.»

L'Annexe I de la Convention de Bâle donne une liste de 45 catégories de déchets dangereux sujettes aux mouvements transfrontières nécessitant un contrôle, à moins qu'elles ne tombent dans aucune des catégories suivantes, dont les caractéristiques sont listées dans l'Annexe III de la Convention de Bâle:

- Explosifs;
- Liquides inflammables liquides;
- Solides inflammables;
- Substances ou déchets susceptibles de brûler spontanément;
- Substances ou déchets qui, au contact de l'eau, émettent des gaz inflammables;
- Substances oxydantes;
- Peroxydes organiques;
- Substances qui sont des poisons (aigus);
- Substances infectieuses;
- Produits corrosifs;
- Substances qui libèrent des gaz toxiques au contact de l'air ou de l'eau;
- Substances toxiques (à retardement ou chronique);
- Substances écotoxiques;
- Substances capables, par n'importe quel moyen, après élimination, de donner un autre matériau, par ex. des lixiviats qui peuvent avoir n'importe quelle des caractéristiques listées ci-dessus.

2.3 L'importance du développement de stratégies nationales de gestion des déchets

La gestion de déchets influe sur tous les secteurs de la société et de son économie. Elle concerne les autorités locales, régionales et nationales; elle nécessite une base juridique, un mécanisme de financement, et une bonne coordination entre la population et les autorités, à tous les niveaux. En plus, une bonne gestion des déchets n'est pas possible sans un niveau minimal d'investissement. Afin de rendre le système de gestion de déchets cohérent, toutes les actions, aux différents niveaux, devront respecter une stratégie acceptée par tous; il est donc nécessaire, ou au moins utile, de discuter et de définir, une stratégie nationale de gestion des déchets. La mise en œuvre réussie de tout système de gestion de déchets, en particulier dans les pays en voie de développement, pourrait nécessiter un transfert de technologies appropriées, et aussi un renforcement des capacités en conformité avec l'Article 12 de la Convention (voir aussi: Questions scientifiques et techniques, section III.A, sous section 3).

2.4 Quelques principes à appliquer

Certaines directives de la Convention de Bâle sont à prendre en considération pour le développement de stratégies pour les déchets et pour les déchets dangereux (Basel Convention Secretariat 1993); parmi celles-ci on peut citer:

Le principe de la réduction à la source «par lequel la génération de déchets devrait être minimisée en termes de quantité, et de leur potentiel à entraîner des pollutions. Ce but peut être atteint avec des installations et des procédés adaptés.»

Le principe du cycle de vie intégré «par lequel les substances et les produits devraient être créés et gérés pour que l'impact sur l'environnement soit minimal pendant leur génération, leur utilisation, leur récupération et leur destruction finale.»

Les déchets rejetés, et ayant un potentiel de réutilisation ou de recyclage, devront être récupérés à ces fins, autant que possible

2.5 Approche proposée par le Plan de Mise en Œuvre de la WSSD

Le paragraphe 22 du Plan de Mise en Œuvre, du Sommet Mondial de Johannesburg (2002) sur le Développement Durable (WSSD) dit:

«Prévenir et minimiser les déchets et maximiser la réutilisation, le recyclage et l'utilisation de matériaux alternatifs favorables à l'environnement, avec la participation des autorités gouvernementales et toutes les parties prenantes, afin de minimiser les effets négatifs sur l'environnement, et d'améliorer l'efficacité des ressources avec une aide financière, technique ou autre pour les pays en développement.

Ceci comprendrait des actions à tous les niveaux pour:

(a) Développer des systèmes de gestion des déchets avec la plus grande priorité accordée à la prévention et la réduction, à la réutilisation et le recyclage des déchets, et à des unités d'élimination écologiquement rationnelles, comprenant des technologies capables de valoriser l'énergie contenue dans les déchets; aussi, encourager des initiatives de recyclage à petite échelle qui soutiennent la gestion de déchets au niveau urbain, et qui fournissent des opportunités pour la génération de revenus, avec l'aide internationale pour les pays en voie de développement.

(b) Promouvoir la prévention et la réduction de déchets en encourageant la production de biens de consommation réutilisables, et de produits biodégradables, tout en développant les infrastructures nécessaires».

2.6 L'importance de l'éducation du publique

Une mise en œuvre réussie d'un plan générale de gestion des déchets nécessite le soutien de différents acteurs: consommateurs, autorités, responsables de la gestion des déchets. Toutes ces parties prenantes doivent être informées au sujet de la gestion cohérente des déchets, et doivent être convaincues afin qu'elles participent au succès de sa mise en œuvre. Il existe un besoin clair pour un renforcement des capacités à tous les niveaux: par exemple, les consommateurs devront être informés des stratégies pour éviter la création de déchets, et des avantages à profiter des opportunités de recyclage; aussi, des informations sur les dangers que présente pour la santé le brûlage à l'air libre des déchets, et la promotion de meilleures alternatives sont indispensables, si ce moyen de disposer des déchets doit être réduit, puis abandonné.

2.7 L'importance de la formation du personnel

Afin de gérer des déchets de manière efficace, il est important qu'une formation suffisante soit fournie aux décideurs et au personnel technique (se référer à la Section III.C, sous section 2.4 (v) des Considérations Croisées).

3. Approche pour influencer la fabrication et les produits

Tous les produits fabriqués industriellement ou de manière artisanale deviendront, à un moment ou un autre, des déchets. Donc la qualité, et en particulier la durée de vie technique, auront un impact important sur les quantités de déchets qui seront à éliminer.

Les autorités nationales sont limitées dans les possibilités dont elles disposent pour prescrire directement la qualité générale du cycle de vie des produits, et pour encourager la production de produits à longue vie. Il existe cependant quelques moyens indirects efficaces pour influencer ces aspects de la production.

Dans beaucoup de pays, les achats publics représentent une part importante du marché global. En définissant des normes de qualité et les besoins minimaux, les achats publics peuvent influencer la qualité des produits offerts. A la suite du Sommet Mondial sur le Développement Durable, plusieurs pays développent actuellement des outils pour assurer une stratégie durable des achats, en s'inspirant de la définition proposée par le Groupe de Travail sur les Marchés Publics Ecologiques crée par le gouvernement du Royaume Uni: «Les marchés publics écologiques représentent un procédé par lequel des organisations peuvent satisfaire leurs besoins pour des produits, des services, des travaux, et des sources d'énergie d'une manière qui fournit un bon retour pour l'argent dépensé, sur la base de l'ensemble d'une vie, en termes de la génération de bienfaits pour la société et pour l'économie, tout en réduisant au minimum les dommages à l'environnement» (Sustainable Procurement Task Force 2006).

De manière générale, il est mieux d'éviter des emballages inutiles, d'encourager les produits durables et réutilisables, et d'utiliser des matériaux et des conceptions de produit qui évitent la toxicité et autres caractéristiques présentant un risque, et qui permettent une réutilisation, une récupération de matériaux et un recyclage, en fin de vie des produits.

L'étiquetage est un autre outil puissant; il permet aux consommateurs de choisir des produits basés sur leur performance écologique, leur prix et leur qualité, orientant donc le choix des consommateurs vers des produits fabriqués en respectant les principes du développement durable.

3.1 Garanties pour les produits

Les produits deviennent des déchets à la fin de leur vie. Si l'utilisation d'un produit est limitée par une conception ou une fabrication qui laissent à désirer, ceci peut résulter en une durée de vie technique indûment courte. Des appareils électroniques ou des pneus de basse qualité pourraient devenir des déchets dans un temps d'utilisation relativement court, augmentant donc la quantité de déchets. Une voie possible pour

influer sur la qualité est de définir juridiquement une période de garantie minimale pour les produits.

3.2 Encouragement aux sociétés pour l'utilisation de systèmes de gestion environnementale

L'utilisation de systèmes de gestion environnementale (par exemple ceux développés par l'ISO et le Système Communautaire de Management Environnemental et d'Audit, l'EMAS) mène à une meilleure connaissance des procédés industriels et de leur influence sur l'environnement. Ceci pourrait aider aussi à réduire les quantités de déchets et leurs niveaux de risque. La gestion responsable de produits et de procédés, du point de vue de l'environnement, peut stimuler une plus grande prise de conscience dans l'ensemble de la société, améliorer sa crédibilité et réputation, renforcer les opportunités pour le développement des affaires, et faciliter le dialogue et les partenariats entre les parties prenantes les plus importantes.

3.3 Responsabilités des fabricants

Les producteurs et autres parties prenantes ont des responsabilités qui peuvent être établies au travers d'approches telles que le projet préliminaire de l'Union Européenne sur la Politique des Produits Intégrés, la future stratégie thématique sur la prévention et le recyclage de déchets, le Programme de Responsabilité Etendue du Producteur de l'Organisation pour la Coopération et le Développement Economique (OCDE 2000), la notion de la responsabilité qui incombe pour un produit, ou par d'autres moyens. Dans certains cas il pourrait être utile d'obliger les fabricants à reprendre certains produits en fin de vie, et à assurer leur traitement dans des conditions écologiquement rationnelles.

4. La réduction à la source comme priorité

De manière générale, une société devrait considérer avec soin toute la gamme des options pour le traitement des déchets et leurs ramifications, avant de prendre une décision de procéder à un investissement important pour la construction d'un nouvel incinérateur, d'une nouvelle décharge technique, de traitements mécaniques ou biologiques, ou pour d'autres investissements du même type, ou encore pour la réhabilitation d'une installation existante à cette fin.

La première priorité parmi les options de gestion des déchets est la réduction à la source – minimisation de la quantité de déchets, en parallèle avec une réduction de sa toxicité et autres caractéristiques de dangerosité. Ceci est une responsabilité partagée avec tous les secteurs de la société. Une mesure du succès obtenu est le pourcentage de rejets qui peuvent être détournés des décharges et incinérateurs, mais cet aspect devra toujours être considéré dans le contexte de l'ensemble des déchets générés.

Dans certaines situations, la décision de construire une nouvelle grande installation de traitement des déchets peut affaiblir les efforts faits pour réduire les déchets et pour récupérer des ressources à partir des déchets. Ceux qui investissent dans ces nouvelles installations auront souvent à subir le problème d'assurer une quantité suffisante de déchets à traiter, pour récupérer leur investissement. Lorsque cela arrive, la nouvelle

installation peut jouer un rôle négatif de démotivation pour ceux qui font des efforts pour réduire les déchets. Donc toute analyse de la situation devrait avoir lieu dans un contexte des politiques globales de gestion des déchets.

5. Collecte des déchets

Les ménages gardent généralement les déchets à éliminer dans des conteneurs désignés. Ceux-ci peuvent être des poubelles en métal ou en plastique, ou des sacs en plastique ou en papier. Dans des grands bâtiments et immeubles, on fournit parfois des conteneurs centralisés dans lesquels les habitants placent leurs déchets. Dans la plupart des pays développés, les déchets ménagers sont normalement collectés directement des habitations, de manière régulière, car les déchets alimentaires en particulier se dégradent rapidement. Dans les villes et les zones urbaines, les déchets sont collectés dans des véhicules spécialement conçus, équipés d'un dispositif de compaction afin d'augmenter les quantités qui peuvent être transportées, souvent sur de grandes distances, vers des sites d'enfouissement. Dans de grandes agglomérations, il a été démontré que le transfert des déchets vers les décharges dans des wagons ferroviaires est économiquement viable; de grandes barques sont aussi utilisées pour le transport. Dans quelques cas on peut procéder à une mise en balles pour faciliter une manutention mécanique.

Bien qu'il existe des systèmes très performants pour le triage mécanique des déchets mixtes, une séparation à la source et une collecte de produits recyclables, reviennent dans beaucoup de cas moins chères et fourniront des produits plus propres pour le recyclage. Ceci est surtout vrai quand, en l'absence de séparation à la source, du papier et carton sont mélangés à des déchets humides venant des cuisines, ou quand des déchets végétaux, destinés à être compostés ou fermentés, risquent d'être mélangés à des déchets dangereux venant de petites industries.

6. Recyclage

Il est possible généralement de composter, de réutiliser, ou de recycler une grande partie des déchets solides municipaux. Dans plusieurs pays industrialisés plus de 50% des déchets solides municipaux sont recyclés. Quelques régions atteignent même un taux supérieur. Des ONG comme *Zero Waste International Alliance* poursuivent de tels objectifs ambitieux afin de détourner les déchets des décharges ou des incinérateurs, dans un certain nombre de pays. «Déchet zéro» implique la conception et la gestion de produits et de procédés pour réduire le volume et la toxicité des déchets et des matériaux, pour conserver et récupérer toutes les ressources, et pour éviter de les brûler ou les enfouir. Des programmes de déchet zéro ont été mis en œuvre dans plusieurs pays comme par exemple à Palarikovo, Slovaquie et à Canberra, Australie – voir les références des sites Internet pour plus d'information.

Une élimination correcte de déchets mixtes est dans la plupart des cas plus coûteuse qu'une réduction à la source, par l'utilisation de produits à longue vie, par la réparation des produits, et par un recyclage efficace. Il faut examiner et développer les possibilités

du compostage, de la réutilisation et du recyclage, en tenant compte de la composition des déchets, des systèmes existants de ramassage et de recyclage, ainsi que de facteurs économiques.

Comme exemple, le recyclage de papier et de carton, de métaux et de verre peut créer dans beaucoup de cas un revenu positif, ou bien peut s'avérer au moins meilleur marché que le transport et l'élimination de ces matériaux ensemble avec d'autres déchets. De la même manière, la collecte et le recyclage de bouteilles ou d'autres conteneurs en plastique PET (polyéthylène téréphtalate) peuvent fournir une matière première pour l'industrie du recyclage des plastiques.

Dans beaucoup de pays en voie de développement, des ressources dérivées des déchets peuvent fournir des matières premières importantes, pour des activités de récupération et de re-fabrication de ressources à petite échelle. Ces activités à petite échelle peuvent être encouragées. Si cela est fait, des efforts devront être faits également pour encourager des améliorations aux niveaux de la santé et de la sécurité du secteur, qui dans beaucoup de pays représente un secteur informel.

La collecte de produits recyclables peut se faire au niveau d'une séparation à la source, suivie du ramassage des produits recyclés, soit par les autorités publiques, soit par des sociétés privées. Dans beaucoup de cas, le secteur informel a aussi mis en place des structures assez efficaces pour la collecte de ces déchets. L'utilisation et même le renforcement de structures existantes peuvent représenter des avantages économiques et sociaux, et il faut donc en tenir compte lorsque l'on développe, ou adapte, des systèmes de gestion des déchets. Des exemples intéressants d'associations de proximité, qui ont réussi à recycler et à composter des déchets, viennent de Mumbai en Inde, et du Caire en Egypte (Kumar 2000; Faccini 1999).

7. Elimination finale

Même avec de bons résultats au niveau de la prévention de déchets, et de programmes ambitieux pour le recyclage, il reste toujours quelques déchets à éliminer. La quantité de déchets, leur composition et caractéristiques de dangerosité, ainsi que les possibilités techniques et économiques pour leur élimination, sont des facteurs dont il faut tenir compte en choisissant la méthode d'élimination finale.

Si les déchets mixtes contiennent un pourcentage élevé de déchets végétaux, il faudrait examiner les possibilités de les traiter par compostage ou par digestion anaérobie. Dans certains cas, les déchets sont composés essentiellement de matière végétale, de poussières et de sable, et le compostage des déchets après un tri pour éliminer d'autres fractions (par ex. des plastiques), pourrait constituer une option viable. La qualité et l'utilisation du composte obtenu doivent être évaluées.

Un traitement biologique et un traitement mécano-biologique des déchets, représentent des options valables quand les déchets mixtes contiennent, en plus de matières biodégradables, une proportion plus grande de plastiques, de métaux et d'autres fractions. Les procédés de traitement mécano-biologiques font appel à un tri et à une séparation mécaniques des déchets pour séparer les matières biodégradables (qui sont

envoyées vers un procédé biologique) et les matériaux non-biodégradables. Il est possible de configurer le procédé mécanique pour affiner la séparation de matières non-biodégradables, en fractions qui peuvent être recyclées. Une récupération des parties combustibles du déchet est aussi possible. Cette fraction combustible, appelée aussi combustible dérivé de déchets, sera dans la majorité des cas polluée par des métaux lourds, et contiendra plus de chlore que les combustibles normaux. Pour cette raison, de tels produits qui résultent de la gestion de déchets, ne peuvent être utilisés que dans des installations équipées d'un système de contrôle de pollution, suivi d'une élimination correcte des cendres. On peut utiliser les produits venant du traitement biologique en tant que composte, si la qualité s'avère suffisante; autrement ils peuvent être mis en décharge.

7.1 La mise en décharge

Dans beaucoup de pays les déchets domestiques ont toujours été éliminés par mise en décharge. Des modifications significatives dans la composition des déchets (par ex. des variations dans les quantités de matières plastiques), ainsi que les quantités croissantes qu'il faut éliminées, ont nécessité la création d'aires spécifiques, mises à disposition pour l'élimination de déchets.

Dans une décharge, les déchets sont disposés en couches dans des cellules préparées à l'avance, puis compactés pour réduire le volume. Le déchet est alors couvert, au moins une fois par jour, par une couche de matériau, comme de la terre, pour décourager les vermines, les mouches, les oiseaux et les autres nécrophages, et pour éviter des dommages causés par des objets pointus. Beaucoup de déchets, surtout les déchets dangereux, ne devront être éliminés que dans des centres d'enfouissement techniques. (Pour plus d'information voir les directives techniques de la Convention de Bâle sur les centres spéciaux d'enfouissement techniques (D5)).

La fraction putrescible des déchets subit des processus aérobies et anaérobies. Les gaz de décharge, un mélange de méthane et de CO₂, sont formés en même temps que d'autres composés organiques. Plusieurs de ceux-ci sont solubles dans l'eau, et sont dissous s'il y a un excès d'humidité dans la décharge, menant à un mélange liquide appelé lixiviat. Les lixiviats peuvent être hautement polluants, et il est nécessaire d'empêcher qu'ils ne se mélangent avec la nappe phréatique et les cours d'eau. Le traitement des lixiviats et l'élimination sans danger, ou même l'utilisation, des gaz de décharge, sont des composants de toute stratégie écologiquement correcte de la gestion des déchets. Dans tous les cas, il est nécessaire d'empêcher la migration des lixiviats car ils peuvent continuer à produire des gaz de décharge même en dehors de la décharge.

L'enfouissement est de loin la méthode la plus utilisée pour se débarrasser des déchets, dans la majorité des pays. A cause des problèmes sérieux soulevés au niveau de la santé et de l'environnement, dans le cas de certains sites anciens et abandonnés, ainsi que des coûts très élevés associés aux mesures de nettoyage de sites contaminés, plusieurs pays ont adopté le principe d'un centre d'enfouissement technique, où les déchets ne sont envoyés que vers les sites choisis pour leur propriétés de rétention. Ces sites peuvent être naturels, ou renforcés par la mise en place de revêtements, qui séparent et isolent les déchets de l'environnement. On considère de telles décharges comme étant le

dernier recours, à n'être utilisées uniquement lorsque tout effort aura été fait pour réduire, atténuer ou éliminer les dangers posés par de tels déchets.

8. L'incinération

Dans quelques pays ayant une densité de population élevée, et un manque de sites qui conviendraient en tant que décharges, l'incinération de déchets est devenue la voie principale pour le traitement et élimination de déchets non recyclables, ces 50 dernières années. Comme le déchet solide municipal contient plusieurs composants combustibles, un excès de chaleur peut être produit. Il est possible de détruire presque complètement les microbes pathogènes, et les composants organochlorés, présents dans le déchet. Comme les déchets domestiques contiennent une grande variété de matériaux, y compris certains qui ne sont pas combustibles, les incinérateurs doivent être robustes et adaptables pour faire face à une matière première très variée, en termes de composition et de pouvoir calorifique. Traditionnellement, les fours sont basés sur le principe d'une grille mobile ou basculante, ou dans une moindre mesure, le four rotatif est possible. Pour les boues d'épuration et les déchets industriels, on utilise un four à lit fluidisé. Afin d'assurer une bonne efficacité de combustion, il faut contrôler strictement plusieurs paramètres, comme la gamme de températures à laquelle le four fonctionne et brûle les déchets, le temps pendant lequel le déchet atteint, et est maintenu à la température du four, ainsi que la turbulence à l'intérieur de la chambre de combustion. Le principe dit des «3 T» – température, temps et turbulence en présence de suffisamment d'oxygène – sont les besoins de base pour une bonne combustion (voir aussi la section V.A du présent guide, sur les incinérateurs de déchets).

Afin d'éviter des émissions de gaz ou de particules, les incinérateurs doivent être équipés de systèmes d'épuration des gaz efficaces, qui pourraient dans certains cas inclure des convertisseurs catalytiques, ou l'addition de charbon actif aux gaz de combustion et aux épurateurs. Si l'eau des laveurs est déchargée, elle doit être traitée. Les cendres volantes provenant des électrofiltres, et les résidus des équipements de contrôle de la pollution des gaz, contiendront presque certainement des quantités significatives de produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention, et ces produits devront être éliminés de manière contrôlée.

La nécessité pour un contrôle fiable des paramètres de combustion, les exigences des systèmes haute performance des le lavage des gaz de combustion, et les investissements nécessaires pour la récupération de l'énergie (chaudières, turbines, générateurs d'électricité), pourraient expliquer la raison pour laquelle les incinérateurs sont très développés et efficaces, mais représente aussi une technologie assez coûteuse. Il existe des installations plus petites, mais si l'on veut réaliser des économies d'échelle, il est nécessaire dans la plupart des cas d'avoir au moins 100'000 tonnes de déchets à traiter par an.

Au cours des dernières années, quelques nouvelles méthodes ont été développées pour la combustion des parties non-recyclables des déchets solides municipaux. Dans certains cas, les déchets sont d'abord cassés ou broyés, puis brûlés dans une installation spécialement conçue. Cette approche offre la possibilité de faire un dégazage à des

températures plus faibles, ou de traiter les déchets avec très peu d'oxygène (ou sans oxygène du tout) dans un premier temps, étape appelée «pyrolyse», et aussi de ne pas avoir une première étape avec un excès d'oxygène. Le gaz produit est ensuite brûlé – peut-être après une épuration – à haute température, dans une deuxième étape. Cette étape à haute température permet une vitrification des résidus de combustion et offre quelques possibilités pour la destruction contrôlée de déchets contaminés avec des produits inscrits à l'Annexe C. Il faut faire particulièrement attention dans ces procédés à ce que les produits d'une combustion incomplète ne soient pas rejetés vers l'environnement.

■ **Annexe 1:**

Traitement des déchets provenant de contrôles sanitaires aux frontières

Les contrôles sanitaires aux frontières d'un pays représentent une protection importante contre l'entrée de maladies, de parasites, et d'organismes pathogènes. Les produits et substances interceptés à une barrière de quarantaine peuvent varier considérablement, et comprendre des déchets venant d'avions et de bateaux (y compris des déchets alimentaires et du papier), des matériaux crus ou traités, tels que des paniers ou souvenirs, des matériaux contaminés par des organismes (par ex. les insectes perceurs dans le bois) ou des céréales contenant des graines de mauvaises herbes, des matériaux ou machines de construction contaminés par de la terre.

Dans tous les cas, la priorité doit être accordée à des traitements appropriés pour détruire l'organisme et/ou le matériau incriminé. Dans le passé, c'est l'incinération qui a été la méthode préférée de traitement; maintenant cependant, des techniques sans combustion telle que la stérilisation à la vapeur peuvent aussi être considérées. Un exemple d'une décision commerciale, avec une contribution de la communauté locale, pour le remplacement de l'incinération à haute température par une stérilisation à la vapeur, a eu lieu à l'aéroport international d'Auckland en Nouvelle Zélande tôt en 2005. L'unité de 22 tonnes/jours a été mise en service au début de 2006; depuis, on fait état d'un fonctionnement continu sans problèmes au moment de la mise sous presse de ce document, en décembre 2006.

■ Annexe 2: Cas d'étude sur la gestion de déchets de soins de santé²⁵

Les ONG basées à New Dehli, Srishti et ToxicsLink, soutiennent des centres de soins de santé pour les aider à résoudre des problèmes liés à la gestion des déchets provenant de leurs activités de soins de santé depuis 1996. Dans leur expérience, c'est la volonté administrative qui est le facteur le plus important dans une institution de soins de santé. Plusieurs hôpitaux à New Delhi ont commencé à travailler sur cette question en 1998, peu après la mise en place d'une réglementation nationale sur les déchets médicaux. Dans ces cas, l'administrateur principal a dirigé les changements dans les systèmes, et les modifications de politique. Aujourd'hui ces hôpitaux ont des systèmes bien établis, grâce à leur engagement en 1998 et dans les années suivantes. Les hôpitaux ont typiquement échoué dans le cas où leurs responsables principaux ont considéré que la gestion des déchets représentait un poids inutile, pour eux-mêmes et leurs équipes de soins de santé.

Dans le cas d'un programme de gestion de déchets réussi, le responsable principal a effectué des tournées régulières afin d'identifier et d'aborder les problèmes directement avec le personnel concerné. Le chef de l'équipe médicale et le responsable d'infirmierie, ont aussi joué un rôle actif dans les programmes de gestion des déchets. Dans d'autres cas, un programme d'hôpital réussi a pu être mis en place autour de l'effort de toute une équipe. Pendant que l'administrateur chef apportait son entier soutien, un comité de gestion des déchets a été nommé, sous la responsabilité du Vice Directeur. Le succès du programme nécessitait une formation régulière, faite sur mesure, pour tout le personnel. Le temps nécessaire pour cette formation a été accordé, et l'importance de cette formation a été soulignée.

Comme environ 80% des déchets générés dans des installations de soins de santé étaient des déchets généraux, non-infectieux ou non dangereux, les activités de ségrégation et de recyclage des déchets étaient importantes. Plusieurs hôpitaux ont installé des autoclaves, un système de traitement avancé à la vapeur appelé *hydroclave*, ou une unité à micro-ondes pour traiter une grande partie de leurs déchets infectieux. Les déchets pathologiques ont été envoyés aux crématoires. Les déchets non-infectieux étaient éliminés comme déchets domestiques normaux. Le traitement et élimination d'objets pointus posaient un problème particulier à cause des risques spécifiques liés aux aiguilles contaminées. Une partie des déchets pointus a été enfouie dans des fosses spécialement préparées pour de tels produits. D'autres ont traité les produits pointus en autoclave, ont déchiqueté les objets pointus ainsi traités, puis ont retraité les morceaux séparés de plastique et de métal. Treize cas d'études spécifiques ont été publiés par l'Organisation Mondiale pour la Santé dans *Safe Management of Bio-Medical Sharps Waste in India*. Les ONG ont aussi encouragé l'utilisation de systèmes à petite échelle, et bon marchés, pour de petites installations rurales, tels que de petits autoclaves solaires et autres dispositifs venant de la compétition internationale *Health-Care Without Harm* sur des technologies alternatives de traitement pour des zones rurales. (www.medwastecontest.org).

(iii) Effets bénéfiques additionnels des meilleures techniques disponibles pour les produits chimiques inscrits à l'Annexe C

1. Considérations générales

L'application des meilleures techniques disponibles, pour les substances inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm, aura souvent des effets bénéfiques additionnels. Inversement, des mesures pour protéger la santé publique et l'environnement des autres polluants, aideront aussi à la réduction et à l'élimination des substances inscrites à l'Annexe C.

Ces autres polluants comprennent des poussières, certains métaux (comme le mercure), des oxydes d'azote (NO_x), le dioxyde de soufre (SO_2), et des composés organiques volatiles. Parmi les mesures, on peut citer les procédés de dépollution des gaz de combustion, le traitement des eaux usées et des résidus solides, et le suivi et la présentation des résultats.

Des exemples de quelques liens et avantages co-latéraux sont résumés ci-dessous, avec quelques détails supplémentaires sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales, fournis dans les sections du document traitant des catégories de sources spécifiques.

2. Information, sensibilisation et formation

Les activités d'information, de sensibilisation et de formation associées aux préoccupations pour l'environnement et la santé, et à leur protection, peuvent avoir des effets bénéfiques additionnels pour la réduction des produits chimiques inscrits à l'Annexe C ainsi que d'autres polluants.

3. Procédés pour le traitement des gaz de combustion

Divers procédés pour le traitement de gaz auront des effets bénéfiques pour les substances inscrites à l'Annexe C et pour d'autres polluants. Des exemples sont:

3.1 Rétention, collecte et ventilation

Ces mesures réduiront les expositions pour l'homme (à la maison et au travail) à l'ensemble des matériaux particulaires, aux particules en dessous de 10 microns (PM_{10}) et aux particules en dessous 2,5 microns ($\text{PM}_{2,5}$). Il est possible que les concentrations de polluants associés aux poussières, par exemple les métaux et les composés métalliques (le plomb), et des polluants gazeux tels que des composés organiques volatiles, soient aussi réduites.

3.2 Procédés de séparation des poussières

Des équipements tels que les cyclones, les électrofiltres et les filtres en tissu réduiront les émissions des poussières et des polluants associés à ces poussières, vers l'environnement.

3.3 Procédés d'épuration des gaz

Ces mesures réduiront les émissions de matières particulaires en utilisant des systèmes efficaces d'élimination des brouillards, et pourraient réduire les polluants gazeux tels que les gaz acides et les vapeurs de mercure. La désulfurisation des gaz de procédé réduira les émissions de SO₂.

3.4 Procédés de sorption

L'utilisation de l'adsorption sur charbon actif réduira les émissions de mercure, de composés organiques volatiles, de dioxyde de soufre (SO₂), de HCl, d'acide fluorhydrique (HF) et des dibenzo-*p*-dioxines polychlorés et dibenzofuranes polychlorés (PCDD/PCDF), selon les cas.

3.5 Procédés catalytiques

L'utilisation de réactions de catalyse sélective pour la réduction des NO_x, pourrait aussi réduire les émissions en phase gazeuse de produits chimiques inscrits à l'Annexe C, si une oxydation catalytique a lieu aussi en même temps dans le système. Les réactions de catalyse sélective peuvent aussi oxyder le mercure élémentaire, qui devient soluble dans l'eau, et peut être éliminé dans les systèmes de désulfurisation des gaz. Les filtres catalytiques en tissu peuvent aussi réduire les composés organiques volatiles.

4. Procédés de traitement des eaux

Les traitements primaires des eaux enlèvent les solides en suspension. Les traitements tertiaires comme l'utilisation de charbon actif, pourrait extraire divers composés organiques.

Des gâteaux de filtration provenant des traitements des eaux sont considérés comme déchets dangereux et doivent être éliminés d'une manière écologiquement rationnelle (par exemple dans des décharges techniques spéciales).

5. Procédés de traitement des résidus solides

Des mesures telles que la solidification des déchets, et des traitements thermiques, réduiront la quantité totale de polluants, et aussi la lixiviation de divers polluants vers l'environnement

6. Suivi, et présentation de rapports

Les installations seront peut-être obligées de faire un suivi, de mesurer, d'évaluer et de présenter des rapports sur les rejets vers l'environnement. Ces informations donneront des indications au public sur les divers polluants, et aussi sur les incitations pour continuer à améliorer en permanence les performances environnementales des installations.

En effectuant des revues périodiques et complètes d'une vaste gamme de polluants, y compris les PCDD/PCDF, l'hexachlorobenzène (HCB) et les polychlorobiphényles (PCB), en plus d'un suivi de routine de polluants communs, on pourra fournir des informations utiles sur plusieurs sources potentielles de substances inscrites à l'Annexe C, et aussi sur d'autres polluants.

(iv) Gestion des gaz de procédé et d'autres résidus

1. Techniques de traitement des gaz (dispositifs de contrôle de la pollution de l'air)

En principe, la réduction des émissions des dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD) et des dibenzofuranes polychlorés (PCDF) peut être réalisée avec les procédés de traitement des gaz tels que:

- Post-brûleurs;
- Systèmes de trempes rapide;
- Séparation des poussières;
- Procédés d'épuration;
- Procédés d'adsorption;
- Oxydation catalytique.

Les dispositifs de contrôle de la pollution de l'air peuvent fonctionner par voie humide, sèche ou semi sèche, en fonction du rôle de l'eau dans le procédé. Les dispositifs de contrôle humide, et parfois semi-humides, requièrent des traitements complémentaires pour traiter l'eau générée avant qu'elle ne soit rejetée en dehors de l'usine²⁶. Des déchets solides produits par des procédés semi sec et sec (et aussi de procédés humides après traitement des eaux usées), doivent être éliminés d'une manière écologiquement rationnelle avant élimination, ou éventuellement avant d'être réutilisés.

Des informations supplémentaires au sujet des applications pour l'incinération des déchets se trouvent à la Section V.A, sous section 6.4.

1.1 Comparaison des techniques de contrôle des PCDD/PCDF

Les techniques qui semblent être les plus efficaces pour la réduction des polluants organiques persistants dans les gaz de combustion sont celles qui utilisent des adsorbants et des contrôles des particules, et celles aux catalyseurs. Le Tableau 1 résume les efficacités d'élimination de quelques techniques de contrôles des PCDD/PCDF.

Les coûts pour contrôler les PCDD/PCDF dans les usines existantes peuvent être réduits en utilisant des synergies avec les appareils de contrôle de pollution de l'air existants:

- Par injection de charbon actif, un filtre en tissu existant ou un électrofiltre, peut être transformé en réacteur à injection pour réduire les PCDD/PCDF. Les coûts additionnels pour la diminution des PCDD/PCDF viennent du stockage, du transport, de l'injection et de la mise en décharge des résidus du coke actif, utilisé comme absorbant supplémentaire, ainsi que d'une manipulation sécurisée du charbon et l'élimination des résidus, qui peuvent changer de caractère.
- Les PCDD/PCDF peuvent être détruits par une oxydation catalytique. Un catalyseur existant peut être utilisé pour l'extraction sélective des NOx (oxydes d'azote). Les coûts supplémentaires proviennent de l'augmentation de l'épaisseur, et donc de la surface du catalyseur, par l'addition d'une ou deux couches, pour atteindre des concentrations de PCDD/PCDF inférieures à 0,1ng TEQ/Nm³.²⁷

En plus de l'élimination ou la destruction des PCDD/PCDF, d'autres polluants tels que des métaux lourds ou des polluants organiques, seront réduits.

■ **Tableau 1. Comparaison des systèmes de contrôles pour les PCDD/PCDF**

Option de contrôle	Efficacité d'extraction des PCDD/PCDF	Avantages additionnels
Cyclone	Efficacité faible	Extraction des poussières grossières
Electrofiltre	Efficacité faible	Conçu pour extraction des poussières
Filtre à manche	Efficacité moyenne	Conçu pour extraction des poussières
Epurateur humide	Efficacité moyenne	Conçu pour extraction de poussières ou gaz acides
Trempe suivie d'épurateur humide à haute efficacité	Efficacité moyenne à élevée	Réduction simultanée de poussières, aérosols, HCl, HF, métaux lourds et SO ₂
Post-brûleur	Haute efficacité	Pas de résidus mais trempe des gaz de combustion nécessaire
Oxydation catalytique (réaction de catalyse sélective)	Haute efficacité; destruction des PCDD/PCDF et autres organiques	Pas de résidus, réduction simultanée des NO _x
Filtre à manche catalytique	Haute efficacité	Extraction simultanée des poussières
Absorption sèche sur résines (particules de carbone dispersées dans une matrice de polymère)	Dépend de la quantité de matériau mis en œuvre	Procédé sélectif pour PCDD/PCDF; le matériau peut être incinéré après utilisation
Réacteur à flux entraîné avec addition de charbon actif ou coke/chaux ou solutions de calcaire, puis filtre à tissu	Efficacité moyenne à élevée	Réduction simultanée de divers polluants tels que les PCDD/PCDF et le mercure; le matériau peut être incinéré après utilisation
Réacteur à lit fixe ou à lit fluidisé avec circulation, adsorption avec charbon actif ou coke de four à creuset	Efficacité élevée	Réduction simultanée de divers polluants tels que les PCDD/PCDF et le mercure; le matériau peut être incinéré après utilisation

a. Puisqu'un adsorbant piégera aussi le mercure, il faut faire attention à la circulation du mercure si le carbone usagé est ensuite brûlé. Une étape supplémentaire d'extraction du mercure est donc nécessaire.

1.2 Systèmes de trempe rapide

Les systèmes de trempe à l'eau sont aussi utilisés pour obtenir une réduction rapide de la température des flux de gaz, en dessous du seuil de formation des substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm. Ces systèmes, et ceux associés pour le traitement des eaux usées, doivent être conçus pour s'accommoder des charges plus importantes de particules qui se trouveront dans les eaux de lavage.

1.3 Post-brûleurs

Les post-brûleurs sont soit séparés de, soit intégrés à, la chambre de combustion principale pour détruire les composés de carbone non brûlés, ou incomplètement brûlés, dans les gaz de procédé. En fonction des conditions réelles, il faudra peut-être aussi un catalyseur, de l'air de combustion additionnel ou un brûleur (au gaz naturel). Lorsque cela est approprié, la législation indiquera les températures minimales nécessaires pour assurer cette destruction dans le cas d'un procédé donné. Des mesures sont à prendre pour assurer que les post-brûleurs sont effectivement utilisés en fonction des besoins.

1.4 Séparation des poussières

Les PCDD/PCDF sont rejetés avec les gaz de combustion dans la phase gazeuse, et sont aussi adsorbés sur les particules. Il est possible que les fractions fines des poussières en soient enrichies, en particulier à cause de leur grande surface spécifique. La séparation des fractions fines de poussières n'est pas toujours parfaitement réalisée avec les électrofiltres, et les filtres en tissu sont plus efficaces pour la réduction des émissions de PCDD/PCDF. L'ajout d'adsorbants peut en rehausser l'efficacité. (Hubner *et al.* 2000)

1.4.1 Cyclones et multi-cyclones

Les cyclones et multi-cyclones (qui consistent en de nombreux petits cyclones) extraient les très petites particules du gaz, à l'aide de forces centrifuges. Les cyclones sont beaucoup moins efficaces que des appareils comme les électrofiltres, ou les filtres en tissu pour le contrôle du rejet des particules, et sont rarement utilisés seuls dans opérations de nettoyage des gaz de haute performance.

1.4.2 Electrofiltres

Les électrofiltres (*Electrostatic Precipitator: ESP*, en anglais, mais aussi connus sous le nom: *Electrostatic filter*) sont utilisés en général pour collecter et contrôler les particules dans le gaz de combustion, en appliquant un fort champ électrique dans le flux gazeux (Fig.2). Ceci permet de charger de manière électrostatique les particules entraînées dans les gaz de combustion.

De grandes plaques de collection (les collecteurs) reçoivent une charge électrique opposée, pour attirer et arrêter les particules. L'efficacité de cette opération est fonction de la résistivité électrique des particules entraînées. Les électrofiltres extraient de manière efficace la plupart des particules, y compris les substances chimiques inscrites à l'Annexe C, adsorbées sur les particules.

■ Figure 2. Principe de l'électrofiltre



Source: European Commission 2005.

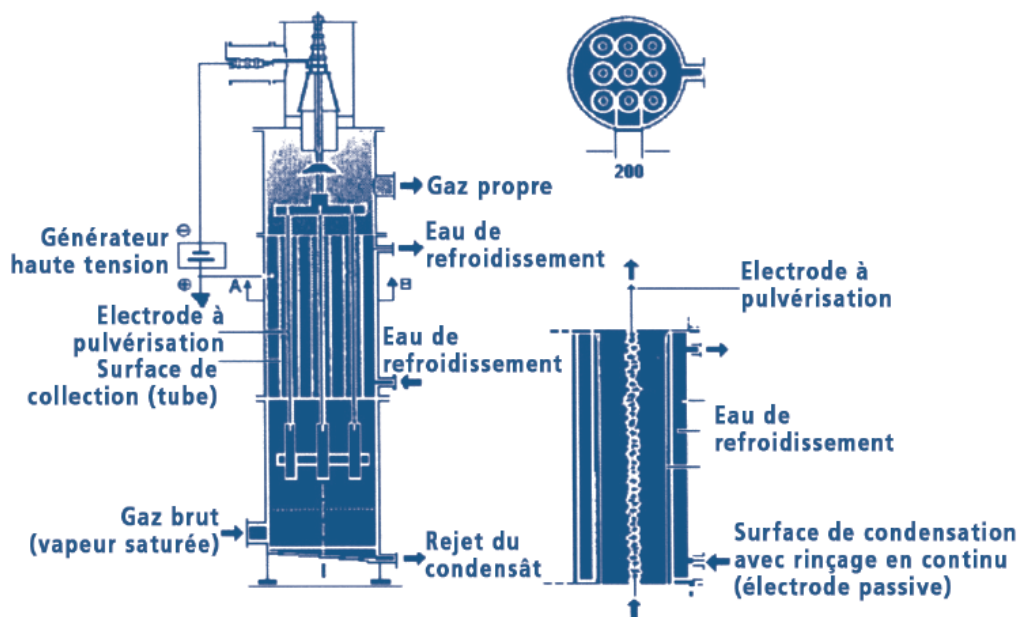
La formation des produits chimiques listés en Annexe C peut avoir lieu à l'intérieur de l'électrofiltre, à des températures aux alentours de 200°C à 450°C. Lorsque la température à l'entrée de l'électrofiltre augmente de 200°C à 300°C, on observe que les concentrations de PCDD/PCDF augmentent avec la température. Lorsque la température augmente au delà de 300°C, les vitesses de formation de ces produits diminuent.

Les températures typiques de fonctionnement des électrofiltres vont de 160° à 260°C. On évite normalement de travailler à plus haute température (par ex. au dessus de 250°C) car cela pourrait augmenter les possibilités de formation de PCDD/PCDF.

Les électrofiltres par voie humide utilisent des liquides, généralement de l'eau, pour enlever les polluants des collecteurs. Les systèmes fonctionnent mieux lorsque les gaz qui entrent sont plus froids, ou humidifiés.

Les électrofiltres à condensation utilisent des faisceaux de tubes en plastique, refroidis à l'eau, qui recueillent les particules fines, solides ou liquides, en facilitant la condensation avec une trempe à eau (Fig.3).

■ Figure 3. Electrofiltre à condensation



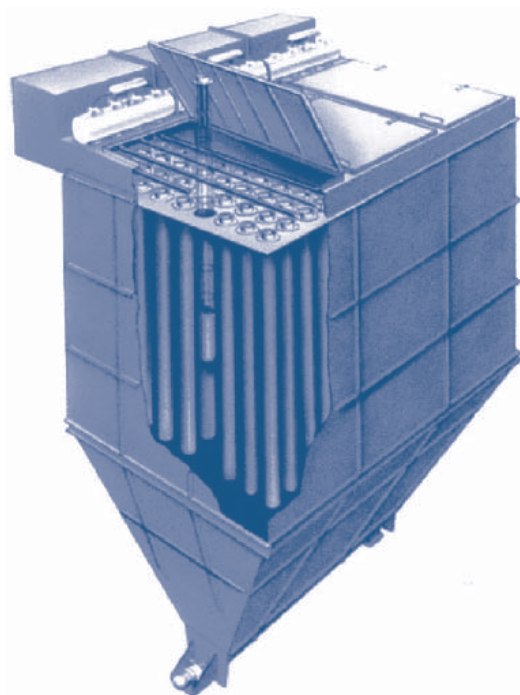
Source: European Commission 2005.

1.4.3 Filtres en tissu

Les filtres en tissu sont aussi appelés filtres à manche, ou filtres à poussières (Fig.4). Ces appareils de contrôle de matières très fines sont très efficaces pour arrêter les substances chimiques inscrites à l'Annexe C qui peuvent être associées à des particules, et aussi les vapeurs qui s'adsorbent sur les particules dans les gaz.

Les filtres sont généralement des sacs de 16 à 20 cm de diamètre, 10 m de long, faits de matériaux renforcés aux fibres de verre, ou de PTFE (cf. Tableau 2), et montés en série. Un ventilateur à induction force les gaz de combustion au travers du tissu à maille serrée, ce qui constitue une base pour la formation d'un gâteau de filtration. La porosité du tissu, et du gâteau qui en résulte, permet aux manches d'agir comme milieu de filtration, en retenant un vaste éventail de particules avec des diamètres allant jusqu'à moins d'un micron (bien qu'à 1 micron, l'efficacité de filtration commence à décroître)²⁸. Les filtres en tissu sont sensibles aux acides, et sont donc fréquemment utilisés en combinaison avec des systèmes d'adsorption à base de sécheur à pulvérisation qui neutralisent, en amont, les gaz acides. Le séchage à pulvérisation sert aussi à refroidir les gaz à l'entrée. Sans un tel refroidissement les substances chimiques inscrites à l'Annexe C pourraient se former dans ces filtres en tissu, d'une manière similaire à ce qui se passe dans les électrofiltres. Les systèmes pour extraire les poussières sont comparés dans le Tableau 3.

■ **Figure 4. Schéma d'un filtre en tissu**



Source: European Commission 2005.

■ **Tableau 2. Caractéristiques des matériaux de filtres à manches**

Tissus	Température maximale (°C)	Résistance		
		Acide	Alcali	Souplesse physique
Coton	80	Faible	Bonne	Très bonne
Polypropylène	95	Excellente	Excellent	Très bonne
Laine	100	Moyenne	Faible	Très bonne
Polyester	135	Bonne	Bonne	Très bonne
Nylon	205	Faible à moyenne	Excellent	Excellent
PTFE	235	Excellente	Excellent	Moyenne
Polyamide	260	Bonne	Bonne	Très bonne
Fibre de verre	260	Moyenne à bonne	Moyenne à bonne	Moyenne

Source: European Commission 2005.

■ **Tableau 3. Comparaison des systèmes d'extraction des poussières**

Système d'extraction des poussières	Concentrations typiques des émissions des poussières	Avantages	Inconvénients
Cyclone et multi-cyclone	Cyclones: 200–300 mg/m ³ Multi-cyclones: 100–150 mg/m ³	Robuste, relativement simple et fiable Appliqué à l'incinération des déchets	Uniquement pour le dépoussiérage préalable Consommation d'énergie relativement élevée (par rapport à l'électrofiltre)
Electrofiltre sec	<5–25 mg/m ³	Besoins énergétiques relativement faibles Peut fonctionner avec des températures dans la fourchette 150°–350°C, mais limité dans la pratique à 200°C pour des questions liées aux PCDD/PCDF (voir colonne de droite)	Formation de PCDD/ PCDF si utilisé dans la fourchette 200°–450°C
Electrofiltre, humide	<5–20 mg/m ³	Capable d'atteindre de faibles concentrations de polluant	Utilisé surtout pour le post-dépoussiérage Génération d'eaux de procédé Augmentation de la visibilité du panache de fumée
Filtre à manche	<5 mg/m ³	La couche de résidu agit comme filtre additionnel et comme un réacteur d'adsorption	Consommation d'énergie relativement élevée (par rapport à l'électrofiltre) Sensible à la condensation d'eau et à la corrosion

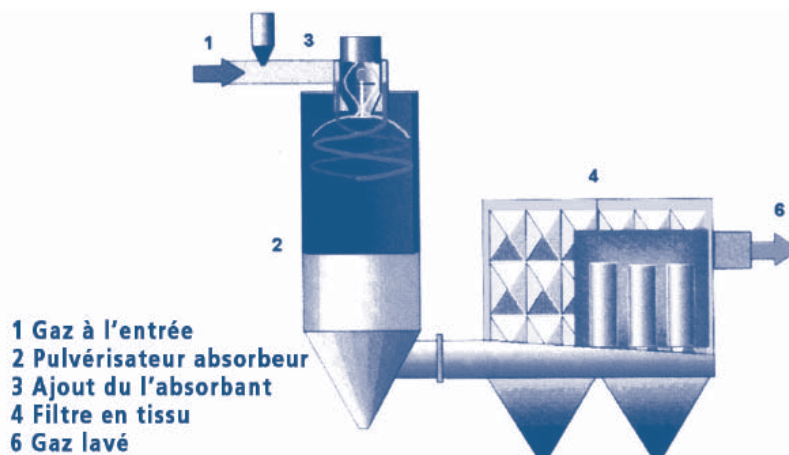
Source: European Commission 2005.

1.5 Procédés d'épuration des gaz

1.5.1 Lavage par pulvérisation à sec

Egalement appelé atomiseur à absorption, ou lavage semi-humide, ce procédé élimine à la fois les gaz acides, et les matières fines contenues dans les gaz de post-combustion. Dans un atomiseur typique, les gaz chauds de combustion entrent dans un compartiment du réacteur d'épuration (Figure 5).

■ **Figure 5. Epuration/adsorption par pulvérisation à sec**



Source: European Commission 2005.

On injecte une boue de chaux hydratée (eaux + chaux) atomisée, dans le réacteur à une vitesse contrôlée. Cette boue se mélange rapidement aux gaz de combustion dans le réacteur. L'eau de cette boue s'évapore très vite, et la chaleur de vaporisation entraîne une baisse rapide de la température du gaz de combustion. La capacité de neutralisation de la chaux hydratée peut réduire les composants acides des gaz de combustion (par ex. HCl et SO₂), jusqu'à 90%. Cependant dans des installations d'incinération de déchets, les systèmes de lavage à sec peuvent atteindre aussi des valeurs de 93% SO₂ et de 98% HCl. Un produit sec constitué de particules sèches et de chaux hydratée, se forme dans le fond du réacteur ou bien est récupéré par le dispositif d'arrêt des particules en aval (électrofiltre ou filtre en tissu).

La technologie de pulvérisation à sec est utilisée en combinaison avec des filtres en tissus ou des électrofiltres. En plus de réduire les gaz acides et les poussières, et de contrôler les métaux volatils, la pulvérisation à sec diminue les températures à l'entrée, contribuant ainsi à la réduction des émissions de substances chimiques inscrites à l'Annexe C. La formation et le rejet de PCDD/PCDF sont notablement réduits avec une trempe rapide des gaz de combustion, à une température qui est peu favorable à leur formation, et aussi avec une efficacité améliorée de récupération des matières pulvérulentes qui en résultent.

Les résidus provenant des laveurs à sec contiennent normalement un mélange de sulfates, de sulfites, de cendres volantes, de polluants et des adsorbants non réagis; ils doivent donc être mis en décharge.

1.5.2 Epurateurs de gaz humides

Les épurateurs de gaz humides englobent un certain nombre de procédés visant à l'élimination de gaz acides et de poussières. Des technologies alternatives comprennent les épurateurs à jets, à rotation, à venturi, à pulvérisation, à tour secs, et à colonne garnie (European Commission 2005). Les épurateurs humides réduisent la formation et le rejet des substances chimiques inscrites à l'annexe C, à la fois sous la forme de vapeur, et sous forme de particules. Dans un épurateur à deux étages, la première enlève le chlorure d'hydrogéné (HCl) par l'introduction d'eau, et la deuxième enlève le dioxyde de soufre (SO₂) par l'apport de chaux hydratée ou de substances caustiques. Dans le procédé d'épuration à lit fixe, du gypse peut se former, mélangé à du carbone, ce qui réduit la quantité de déchets à envoyer en décharge.

Dans le cas des épurateurs à lit fixe, un garnissage constitué de polypropylène contenant du carbone peut être utilisé pour retenir les PCDD/PCDF de manière sélective.

Les épurateurs à sec ont la meilleure efficacité pour l'extraction des gaz acides solubles parmi toutes les techniques utilisées, où l'efficacité d'extraction est fonction du pH de l'eau de lavage. Il est possible que les particules solides dans l'eau du laveur, puissent interagir avec les PCDD/PCDF dans le flux des gaz, affectant donc le rapport entre les résultats obtenus de mesures de suivi périodiques des gaz de procédé, et l'efficacité de destruction de l'installation.

Des effets de mémoire sont surtout dus à une accumulation de divers congénères des PCDD/PCDF dans les matériaux en plastique utilisés dans l'épurateur humide. L'effet peut durer plusieurs heures, ou peut être un phénomène à long terme. A cause de cela, il existe une préférence pour l'extraction des PCDD/PCDF avant le lavage humide, afin de réduire les effets de mémoire. Il faudrait effectuer une évaluation concernant l'accumulation des PCDD/PCDF dans l'épurateur, et des mesures appropriées devraient être prises pour faire face à cette accumulation, et pour éviter des rejets soudains de l'épurateur. Une attention particulière devra être portée à la possibilité des effets de mémoire pendant les périodes d'arrêt et de démarrage.

1.5.3 Extracteurs de poussières fines

Les extracteurs de poussières fines sont équipés de nombreux jets pneumatiques à deux têtes (eau et air comprimé). De tels équipements à haute performance peuvent séparer la fine poussière couverte de PCDD/PCDF, en utilisant une dispersion très fine d'une solution absorbante associée à une grande vitesse des gouttelettes d'eaux. De plus, le refroidissement des gaz de sortie et le sous-refroidissement de l'absorbeur de poussière, provoquent la condensation et améliorent l'adsorption des composés volatiles sur les particules de poussières. La solution absorbante est ensuite traitée par les techniques applicables aux eaux usées. L'addition d'adsorbants peut améliorer encore la réduction des PCDD/PCDF. Avec un épurateur simple pour la séparation des gaz acides, il n'est pas possible d'obtenir une élimination des PCDD/PCDF. Les niveaux d'émission que l'on peut atteindre avec des absorbeurs à haute performance sont de l'ordre 0,2 – 0,4 ng l – TEQ/Nm³. C'est l'équivalent d'une efficacité de séparation d'environ 95% (Hübner *et al.* 2000). Les déchets générés par ce procédé sont normalement envoyés dans une décharge spéciale.

1.6 Procédés à sorption

1.6.1 Filtres à lit fixe

Dans ce procédé, les gaz de combustion préalablement lavés passent à travers un lit de coke actif, à des températures de l'ordre de 110°C-150°C. Il est nécessaire de prévoir l'apport d'un adsorbant frais, un réacteur à lit fixe, et un système de traitement de l'adsorbant usagé. Le lit de coke actif extrait les poussières résiduelles, les aérosols et les polluants gazeux. Il est déplacé avec le courant, et à contre courant, pour empêcher le colmatage de ce lit, par les poussières résiduelles par exemple.

Normalement, le coke actif imprégné de PCDD/PCDF est éliminé par une combustion (interne), ce qui détruit en grande partie les polluants organiques. Les polluants inorganiques sont rejetés avec les scories, ou séparés encore par le nettoyage des fines dans les gaz. Le procédé à lit fixe permet de réduire les PCDD/PCDF de 99,9%. La performance normalement acceptée (état de l'art) est la norme de 0,1 ng I – TEQ/Nm³ (Hübner *et al.* 2000; Hartenstein 2003).

1.6.2 Procédés à injection

Afin de améliorer l'efficacité de séparation des filtres à tissu, des adsorbants à haute capacité d'adsorption de PCDD/PCDF sont injectés dans le flux des gaz de sortie. En général, on utilise des adsorbants comme le charbon actif ou des coques du type four de creuset, avec l'hydrate de chaux. La séparation est effectuée à l'aide d'un filtre en tissu en fin de procédé, là où les adsorbants et les poussières sont séparés et la couche de filtration est formée. Il faut prévoir une élimination appropriée de la poussière des filtres contenant les PCDD/PCDF. Les températures de fonctionnement vont de 135°C à 200°C.

Normalement, le coke couvert de PCDD/PCDF est éliminé par une combustion *in situ*. Cette combustion permet de détruire presque complètement les polluants organiques. Les polluants inorganiques sont rejetés dans les scories, ou bien séparés encore pendant le lavage des fines dans les gaz de combustion.

Avec cette technologie à injection, des efficacités de filtration de 99% sont atteintes. L'efficacité d'élimination des PCDD/PCDF dépend de la qualité de l'injection d'adsorbant, de l'efficacité du système de mélange des gaz avec l'adsorbant, du type de filtre à particule et de l'opération du système. Un autre paramètre critique est le débit massique de l'adsorbant injecté. Pour une application efficace de cette technologie, on devrait utiliser un filtre à manche. La performance normalement acceptée (état de l'art) est de 0,1 ng I – TEQ/Nm³ (Hübner *et al.* 2000; Hartenstein 2003).

1.6.3 Réacteur à flux entraîné

Dans cette technologie, les mêmes adsorbants que pour les procédés à adsorbants sont utilisés. Cependant, l'adsorbant est généralement appliqué dans un mélange avec la chaux hydratée ou d'autres matières inertes comme le calcaire, la chaux vive ou le bicarbonate de soude. Pour le polissage des gaz, en amont du réacteur à flux entraîné, un système de nettoyage conventionnel des gaz doit être utilisé pour arrêter la majorité des cendres volantes et les gaz acides. Les dispositifs nécessaires comprennent un apport

d'un adsorbant frais, un filtre en tissu, un système de recirculation et un système pour les adsorbants usagés. Les températures de fonctionnement vont généralement de 110°C à 150°C. La performance normalement acceptée (état de l'art) est de 0,1 ng l – TEQ/Nm³ (Hartenstein 2003).

1.6.4 Absorption à sec (sur résines)

Une nouvelle technologie d'épuration des gaz a été développée, qui combine l'adsorption et l'absorption des PCDD/PCDF dans des structures plastiques contenant des particules de carbone dispersées. Les PCDD/PCDF sont d'abord adsorbés sur la matrice polymérique, puis diffusent vers la surface des particules de carbone, où ils sont adsorbés de manière irréversible. L'application la plus courante de Adiox™ est pour le remplissage de tours utilisées dans des systèmes d'épuration des gaz. Jusqu'à maintenant, plus de 30 lignes d'incinération à grande échelle, avec des débits de gaz allant de 5'000 à 100'000 Nm³/h, sont installées dans des systèmes d'épuration des gaz humides. L'efficacité d'extraction dépend de la quantité de matériau installé. La technologie peut être utilisée comme le système principal d'épuration des PCDD/PCDF, ou pour augmenter les marges de sécurité, ou encore pour réduire l'effet de mémoire dans les épurateurs humides. Si on utilise l'Adiox dans des adsorbants à sec, l'efficacité d'enlèvement, par quantité installée, est plus importante (Andersson 2005).

1.7 Oxydation catalytique des PCDD/PCDF

1.7.1 Réactions catalytiques sélectives

Les procédés d'oxydation catalytique qui sont généralement utilisés pour la réduction des émissions d'oxydes d'azote, sont aussi utilisés pour la destruction des PCDD/PCDF. Un dépoussiérage efficace (par ex. niveaux d'émission inférieurs à 5 mg/m³) est donc essentiel pour atteindre des faibles niveaux d'émission pour les substances inscrites à l'Annexe C. Si l'on vise uniquement l'élimination des PCDD/PCDF (par ex. par le procédé DeDiox) une injection d'ammoniac n'est pas nécessaire. Dans ce cas, les températures opératoires vont de 130°C à 150°C.

Les avantages principaux de ces procédés sont un mode opératoire facile et le fait qu'il n'y a pas de résidus, à part de très faibles quantités de catalyseur usagé. L'oxydation catalytique ne pose donc pas de problèmes d'élimination.

La réaction de décomposition du Cl₄DD peut être écrite:

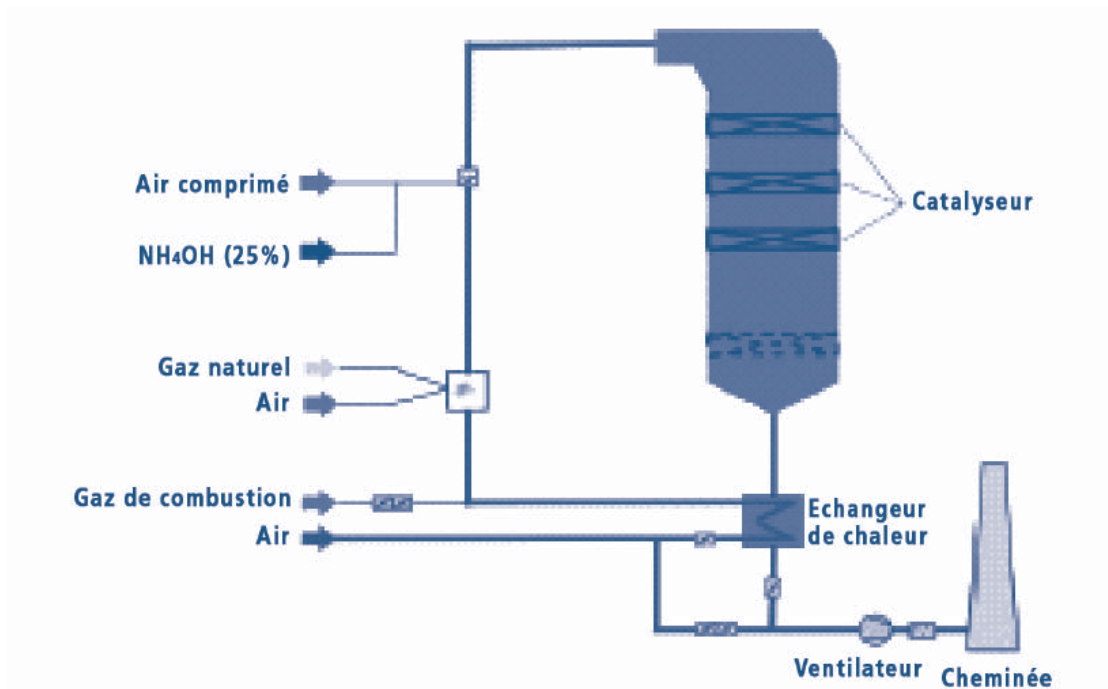


En général, on opère dans des circuits de gaz propre, c'est-à-dire que les poussières et les métaux lourds sont séparés avant le catalyseur, afin d'éviter une usure rapide et la désactivation des catalyseurs par des poisons.

Avec l'oxydation catalytique, seulement une partie des PCDD/PCDF dans la phase gazeuse peut être arrêtée. Néanmoins, on peut atteindre 95% à 99% de réduction des émissions. Le taux de réduction des PCDD/PCDF dépend du volume de catalyseur, de la température de réaction, et de la vitesse spatiale des flux de gaz dans le catalyseur. Des tests sur PCDD/PCDF ont montré des valeurs inférieures à 0,01 ng l – TEQ/Nm³ (base de gaz sec, 11% O₂).

Dans le procédé de réduction catalytique sélective, pour l'élimination à la fois des PCDD/PCDF et des NOx, un mélange d'air et d'ammoniac est injecté dans le flux des gaz, et passe par un catalyseur à maille (fig.5). L'ammoniac et les NOx réagissent pour former de l'eau et du N₂. (European Commission 2004; Hübner *et al.* 2000; Hartenstein 2003).

■ **Figure 6. Réacteur de réduction catalytique sélective à haute température pour l'extraction simultanée des NOx et des PCDD/PCDF**



Source: Hartenstein 2003.

1.7.2 Filtres à manches catalytiques

Ce type de filtre à manche, avec membranes en PTFE, permet d'atteindre des concentrations de poussières dans les flux de gaz lavés d'environ 1 - 2 ng/Nm³. On connaît ce type d'application dans l'incinération des déchets, les fours crématrices, l'industrie des métaux et les cimenteries. Des filtres à manches qui sont imprégnés d'un catalyseur, ou qui contiennent un catalyseur à poudre, directement mélangé dans la fibre d'origine, ont été utilisés pour réduire les émissions de PCDD/PCDF. Ce type de filtre à manche est généralement utilisé sans addition de charbon actif, de telle manière que les PCDD/PCDF puissent être détruits dans le catalyseur, plutôt que d'être adsorbés par le charbon, puis rejetés comme résidu solide. Ces filtres catalytiques opèrent à des températures entre 180°C et 200°C.

Un système de filtre à manche catalytique contient des fibres microporeuses de PTFE, avec les particules de catalyseur incrustées dans la structure fibreuse. Dans ce procédé, les particules de PTFE sont mélangées au catalyseur, puis traitées pour en faire des fibres. Une membrane d'e-PTFE est laminée avec les fibres microporeuses e-PTFE/catalyseur pour donner le milieu de filtration. Ce matériau est ensuite cousu en forme de filtres à manche, qui peuvent être installés dans le locale de filtration. Dans le cas d'applications dans des fours crématrices allemands et japonais, des émissions inférieures à 0,1 ng I-TEQ/Nm³ ont été mesurées (Xu *et al.* 2003).

2. Traitement des résidus de traitement des gaz de combustion

Le traitement des gaz de combustion pour enlever les contaminants, tel que décrit ci-dessus, générera différents résidus qui doivent être soit éliminés, soit traités encore avant une élimination ou une éventuelle réutilisation. Des options appropriées pour l'élimination ou la réutilisation de ces résidus, dépendront du type et du degré de contamination, également de la matrice du déchet (fraction inerte). Les résidus provenant des traitements des gaz peuvent être des solides (par ex. des poussières venant de filtres à manche ou d'électrofiltres), des eaux usées, ou des boues contenant des quantités diverses de solides en suspension, et dissout (par ex. des électrofiltres humides et autres épurateurs humides) ou des matériaux adsorbants (par ex. des résines saturées). Ces résidus peuvent contenir, en plus de matériaux inertes, des métaux toxiques comme l'arsénique, le plomb, le cadmium, le mercure ou autres, ainsi que des PCDD/PCDF²⁹. Ces résidus peuvent être traités de plusieurs manières, comme il est présenté ci-dessous. Les pratiques courantes de traitement, et de mise en décharge des résidus de traitement des flux de gaz, incluent leur utilisation dans le procédé à partir duquel ils ont été dérivés, la mise en décharge, la stabilisation puis l'élimination, la vitrification, l'incorporation dans les matériaux qui seront utilisés pour faire les routes, une valorisation dans des mines de sel ou de charbon, et le traitement thermique ou catalytique.

Selon la Convention de Bâle sur le Contrôle des Mouvements Transfrontières de Déchets Dangereux et leur Elimination, les déchets de l'Annexe I, y compris des cendres volantes, contenant des PCDD ou PCDF, sont classés comme déchets dangereux.

2.1 Gestion des résidus solides des traitements des gaz de combustion³⁰

Un des principaux résidus du traitement des gaz de combustion (ou des résidus des contrôles de la pollution) est les cendres volantes. L'extraction des cendres volantes des gaz de combustion par l'utilisation de laveurs sec, de cyclones ou de filtres en tissu, mènera à un matériau qui est une poudre fine ayant une gamme de propriétés et contenant divers contaminants, selon la source de combustion d'où il provient. Plusieurs types de contrôle de la pollution de divers sources de combustion, y compris les incinérateurs municipaux et les incinérateurs pour déchets dangereux, des fours à arc électrique des aciéries, et des fours à ciment, peuvent générer un tel produit fin lorsque des contrôles secs sont utilisés. Ces résidus de poudre fine contiendront différents niveaux de métaux (selon les matières premières), et pourraient aussi contenir des PCDD/PCDF et autres hydrocarbures polycycliques aromatiques, en fonction des conditions de combustion.

Les contaminants qui sont rejetés dans l'environnement à partir de ces matériaux secs, le sont par diverses voies, comprenant la lixiviation vers les nappes phréatiques, des poussières emmenées par le vent, des absorptions par les plantes, or l'ingestion directe par l'homme ou par les animaux sauvages (potentiellement aussi les animaux de ferme). Toute la gestion de ces matériaux doit tenir compte de ces voies de rejets possibles, en fonction de résidus particuliers. Un certain nombre d'options de gestion, y compris une réutilisation bénéfique, et un traitement ou une élimination, sont disponibles pour ces

résidus secs, suivant les propriétés de la fraction inerte et le type et le niveau de la contamination par des métaux et des produits organiques.

2.1.1 Réutilisation des résidus

Une réutilisation limitée est appropriée pour des résidus secs et solides.

Une réutilisation majeure pour les cendres volantes de charbon concerne la construction des routes ou de bâtiments, à cause de leurs propriétés pouzzolaniques; elles peuvent être utilisées aussi pour le ciment et le béton.

Il ne faudrait jamais utiliser les cendres volantes comme additives pour les terres agricole, ou pour des applications similaires. Le rajout à la terre peut résulter en une dispersion ultérieure de la cendre et les contaminants qu'elle pourrait contenir. En agriculture, les plantes peuvent absorber les contaminants, menant à des expositions possibles pour l'homme ou les animaux qui consomment ces plantes. Les animaux qui picorent ou broutent peuvent ingérer des contaminants de manière indirecte, avec une exposition ultérieure pour les humains lorsqu'ils consomment les animaux ou des produits dérivés des animaux (par ex. le lait et les œufs).

2.1.2 Stabilisation et solidification

Les options pour le traitement et l'élimination des résidus solides provenant des systèmes de contrôle de la pollution des gaz de combustion, comprennent la solidification ou la stabilisation avec du ciment portland (ou d'autres matériaux pouzzolaniques) seul ou avec des additifs, ou bien un certain nombre de traitements thermiques, suivis d'une élimination appropriée (basée sur les rejets attendus des résidus traités). Certains résidus n'ayant qu'une faible contamination n'auront peut-être pas besoin d'un traitement, avant d'être mis en décharge, en fonction d'une évaluation de leur potentiel pour libérer les contaminants qu'ils contiennent.

Le but principal d'une solidification est de réaliser un matériau avec des propriétés physiques et mécaniques qui favorisent une réduction des rejets de contaminant, à partir de la matrice du résidu. Un ajout de ciment, par exemple, diminue la conductivité hydraulique et la porosité du résidu, et par ailleurs augmente la durée de vie, la résistance et le volume.

Les méthodes de solidification font fréquemment usage de divers type de liants, le plus souvent de nature minérale: ciment, calcaire et autres matériaux pouzzolaniques tels que les cendres volantes de charbon, les cendres de haut fourneaux ou les poussières de cimenteries, bien que quelques liants organiques comme les bitumes/asphaltes ou paraffine et polyéthylène puissent être aussi utilisés. Des combinaisons de liants et de divers types d'additifs, brevetés ou non, sont tout aussi bien utilisées. C'est la technologie basée sur l'utilisation de ciment qui est de loin la plus courante.

Le principe de la stabilisation chimique est de fixer les métaux lourds pour les mettre dans une forme plus insoluble que celle dans laquelle ils se trouvent dans les résidus de départ, non traités. Ces méthodes de stabilisation utilisent à la fois une précipitation des métaux, sous forme de nouveaux minerais, et la fixation des métaux sur les minerais par

adsorption. Ce procédé inclut la solubilisation des métaux dans les résidus suivie d'une précipitation sous forme de nouveaux minerais, ou d'une adsorption sur les minerais.

Plusieurs des méthodes de stabilisation comprennent une première étape de lavage qui enlève une grande partie des sels solubles, et dans une certaine mesure des métaux, avant une fixation chimique des métaux restants. Ces méthodes sont complétées par un égouttage mécanique du produit stabilisé.

Les options de traitement utilisant des procédés d'extraction et de séparation peuvent, en principe, inclure tous les types de procédés permettant d'extraire des composants spécifiques des résidus. L'effort principal a été cependant mis sur les procédés qui extraient les métaux lourds et les sels, avec de l'acide.

Tandis que les méthodes de stabilisation et de solidification des déchets visent typiquement à contrôler le rejet de métaux contaminants, les PCDD/PCDF et autres hydrocarbures polycycliques aromatiques ne sont que partiellement contrôlés par ces traitements (bien que ces composés soient très hydrophobes et ne sont donc pas sujets à une lixiviation très rapide, même à des concentrations élevées). On peut améliorer le contrôle de ces composés organiques en y mettant des additifs (comme des argiles ou du charbon actif), qui sont donc incorporés dans la matrice de déchets formée. Il est nécessaire d'effectuer des tests de lixiviation au laboratoire, ou d'autres types d'évaluation, pour contrôler l'efficacité de toutes ces méthodes de traitement.

2.2 Traitement thermique des résidus de traitements de gaz de combustion

Les traitements thermiques peuvent être classés en 3 catégories: vitrification, fusion, frittage. Les différences entre ces procédés sont surtout liées aux caractéristiques et aux propriétés du produit final.

- La **vitrification** est un procédé par lequel les résidus sont traités à haute température (couramment 1300°C à 1500°C) puis rapidement refroidis (avec de l'eau ou de l'air) pour obtenir une matrice de verre amorphe. Après refroidissement, ce produit issu de la fusion est un matériau avec une seule phase appelée un *vitrifiat*. Ce dernier se présente comme un verre, ou comme de la pierre; cela dépend de la composition des produits fondus. Des additifs sont parfois ajoutés aux résidus (mais pas couramment) pour favoriser la formation de la matrice vitreuse.
- La **fusion** est similaire à la vitrification, mais l'étape de trempe est contrôlée pour favoriser au maximum la cristallisation de la masse en fusion. Il en résulte un produit multi-phase. Les températures et les séparations possibles des phases spécifiques métalliques, sont similaires à celles utilisées en vitrification. Il est aussi possible d'ajouter des additifs particuliers pour favoriser la cristallisation de la matrice.
- Le **frittage** implique le chauffage des résidus à un niveau permettant que les particules se collent les unes contre les autres, et que les phases chimiques se reconstituent dans les résidus. Ceci mène à un produit plus dense, avec moins de porosité et une résistance supérieure au produit d'origine. Les températures habituellement utilisées sont autour de 900°C. Lorsque des déchets solides

municipaux sont incinérés, il se produit un peu de frittage dans le four d'incinération. Ceci est particulièrement le cas dans les fours rotatifs utilisés dans certains incinérateurs.

Sans distinction du procédé utilisé, le traitement thermique des résidus, dans la majeure partie des cas, donne un produit plus dense, plus homogène, avec des propriétés de lixiviation améliorées. Les besoins énergétiques dans ce type de traitement isolé sont généralement élevés.

Ces procédés sont normalement utilisés pour immobiliser les métaux ou des contaminants radiologiques, et réduiront de manière importante le potentiel de lixiviation de beaucoup de contaminants qui pourront se trouver dans les résidus solides de traitement des gaz de combustion. A nouveau, des tests de lixiviation pourraient s'avérer utiles pour évaluer l'efficacité de ces traitements. Comme il s'agit de procédés haute température, tout PCDD/PCDF ou autre hydrocarbure polycyclique aromatique adsorbé sur les solides secs de départ, sera probablement détruit pendant le procédé de traitement. Cependant, en tant que procédé haute température, il faut suivre les émissions vers air à partir du traitement lui-même, car il pourrait donner lieu à des résidus de contrôle de pollution de l'air, qui nécessiteront alors une gestion écologiquement rationnelle

2.3 Traitement des résines d'adsorption à sec usagées

L'utilisation de résines d'adsorption à sec spéciales, pour extraire des contaminants tels que les PCDD/PCDF dans les gaz de combustion avant leur rejet vers l'air, donnera lieu aussi à un résidu de traitement sous forme d'une cartouche de résine usagée ou d'un matériau (résine) en vrac. Si de telles résines sont faites pour être régénérées, soit par un traitement thermique soit d'une autre manière, le procédé de régénération lui-même va générer des résidus ou provoquer des rejets vers l'air qui doivent être contrôlés et gérés. Si les résines sont à éliminer après une seule utilisation (ou dans le cas de résines régénérées qui ne sont plus utiles), il sera utile d'effectuer une évaluation du niveau, et du type de contaminant sur la résine pour déterminer si elle peut être mise en décharge sans traitement, ou si un traitement est nécessaire avant l'élimination. Pour certaines résines, il sera peut-être possible de les incinérer ou de les traiter par une autre méthode qui détruira la résine et les contaminants adsorbés.

2.4 Traitement des eaux usées

Plusieurs procédés donnent lieu à des eaux usées qui ne peuvent pas raisonnablement être rejetées vers l'environnement sans traitement. Les procédés de traitement des gaz de procédé sont similaires aux procédés chimiques, dans la mesure où ils peuvent chacun avoir besoin d'un système de traitement des eaux usées.

Divers systèmes humides peuvent également être utilisés pour extraire des polluants des flux de gaz de combustion, évitant ainsi leur rejet vers l'air. Les eaux usées qui en résultent contiendront une certaine quantité de matériaux dissout et aussi en suspension.

Comme pour beaucoup de procédés chimiques, la première étape dans le traitement de ces résidus, en particulier lorsque les métaux sont la préoccupation principale, sera la

séparation des parties liquides et solides. Ceci peut souvent se faire à l'aide de fosses ou de cuves de sédimentation, bien que les mares naturelles puissent nécessiter des systèmes de film protecteur pour empêcher une lixiviation des contaminants vers la nappe phréatique. On peut encore égoutter mécaniquement et sécher la fraction solide, qui peut ensuite être manipulée en tant que solide, comme il est décrit ci-dessus. Il sera peut-être nécessaire d'extraire encore des contaminants de la fraction aqueuse, avant d'être en conformité avec les normes de rejet vers des zones des cours d'eau, ou celles qui alimentent la nappe phréatique. Des traitements pourraient inclure l'addition de produits chimiques pour précipiter les sels métalliques, ou l'utilisation de matériaux adsorbants pour enlever les matières organiques. Les résidus issus des traitements des eaux usées demanderont aussi un traitement et une élimination appropriés.

Les résidus de traitement des gaz venant de procédés humides pourraient aussi contenir des constituants organiques, y compris des PCDD/PCDF ou autres hydrocarbures cycliques aromatiques. Des traitements biologiques dans des mares ou des bacs de rétention peuvent souvent réduire les concentrations de ceux-ci, ainsi que d'autres constituants organiques qui pourraient être présents dans les résidus de systèmes de traitement des gaz.

La plupart des eaux usées ne présente pas d'opportunité pour une réutilisation. Cependant le traitement des gaz de procédé pour enlever le soufre, utilisant de la chaux broyée et éteinte, présente une telle opportunité. Dans la forme complètement oxydée de ce traitement, le résidu solide dans les eaux usées est un sulfate de calcium de haute qualité, ou gypse. Ce gypse peut être égoutté mécaniquement, et utilisé pour la fabrication de plaques pour les murs dans des bâtiments résidentiels ou autres, parfois à des coûts beaucoup plus faibles que pour les plaques obtenus avec du gypse extrait des mines.

(v) Formation des décideurs et du personnel technique

L'importance de l'assistance technique, en particulier la formation, en tant qu'impératif pour le renforcement des compétences nationales des pays en voie de développement (en particulier les moins développés) et les pays avec des économies en transition, est reconnue dans les paragraphes d'introduction de la Convention de Stockholm. L'article 12 stipule: «Les Parties reconnaissent que la fourniture en temps utile d'une assistance technique approprié à la demande des Parties qui sont des pays en développement ou à économie en transition est essentielle pour appliquer avec succès la présente Convention.»

A cet égard, une assistance technique de renforcement des capacités, en particulier une formation aux méthodologies, pratiques et outils environnementaux, avec une référence spécifique aux besoins particuliers d'une Partie, peut donner une meilleure compréhension des procédures pour appliquer, sur une base de durabilité, des pratiques opérationnelles et de maintenance préventive, relative aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales, dans le cadre de la mise en œuvre plan national de la Partie. Il est de la plus haute importance qu'une assistance technique pour renforcer les capacités, en particulier la formation, soit fournie au niveau

de la gestion et aux niveaux techniques ou opérationnels, aux organisations du secteur public et privés qui sont impliquées dans la mise en œuvre des directives pour les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales. Si l'on prend en compte la complexité de beaucoup de ces meilleures techniques disponibles, et de l'approche préventive et holistique nécessaire pour la mise en place des meilleures pratiques environnementales, la gestion du cycle de vie, avec les questions relatives à la santé et à la sécurité, devrait être prioritaire pour le renforcement des compétences, associé à une approche visant la prévention et la diminution des risques.

(vi) Mesures, suivi et présentation des rapports

1. Mesures et suivi

Un bon contrôle et un bon suivi des rejets de substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm, sont essentiels pour atteindre les objectifs de la Convention. Cependant, beaucoup de pays en développement, ou en économie de transition, n'ont pas forcément les capacités nécessaires en termes de coûts, d'expertise technique, et de laboratoires; dans certains cas les retours économiques sur les installations ne seront peut-être pas suffisants pour couvrir tous les coûts associés au suivi nécessaire. Par conséquent, il est nécessaire d'établir et de renforcer les capacités techniques et d'expertise, aux niveaux de la région, de la sous-région et du pays, y compris les laboratoires. Ces capacités peuvent également entraîner la mise en place d'un suivi à périodes déterminées pour les sources existantes.

Les propositions relatives à de nouvelles usines, ou visant à modifier de manière significative des installations existantes, devraient inclure, comme partie des meilleurs techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales, des plans pour l'évaluation de leur conformité avec les valeurs cibles pour des rejets de substances chimiques inscrites à l'Annexe C, c'est-à-dire les rejets dans les gaz et autres vecteurs de rejet donnés dans ces directives. Par conséquent, ces usines devraient pouvoir démontrer, pendant tout leur temps leur fonctionnement, par des mesures à des moments prédéterminés et appropriés, que les performances sont atteintes en permanence.^{31,32}

1.1 Echantillonnage et analyse des PCDD/PCDF et des PCB apparentés aux dioxines

Des méthodes standardisées et validées sont disponibles pour les dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD) et les dibenzofuranes polychlorés (PCDF), mais pas encore pour toutes les substances chimiques inscrites à l'Annexe C (Tableau 4). Les méthodes pour l'échantillonnage et le suivi des polychlorobiphényles (PCB) et l'hexachlorobenzène (HCB) doivent être développées et validées. Les méthodes d'échantillonnage des gaz comprennent celles qui supposent un échantillonnage tout les 4 à 8 heures, et d'autres avec des mesures presque en continu. La plupart des systèmes de réglementation pour les PCDD/PCDF est basée sur l'utilisation des équivalents toxiques (TEQ)³³.

L'échantillonnage des émissions des PCDD/PCDF est surtout effectué jusqu'à maintenant en utilisant une des méthodes données au Tableau 4.

■ Tableau 4: Méthodes pour l'échantillonnage et l'analyse des PCDD/PCDF et PCB dans les gaz de cheminée

Méthode	Substances analysées	Principe analytique	Référence
EN 1948	PCDD/PCDF	HRGC/HRMS	European Committee for Standardization
US EPA Method 23	PCDD/PCDF	HRGC/HRMS	U.S. Environmental Protection Agency
VDI Method 3499	PCDD/PCDF	HRGC/HRMS	Association of German Engineers (VDI)
Canada Methods EPS 1/RM/2 et EPS 1/RM/3	PCDD/PCDF, PCB	HRGC/HRMS	Environment Canada
Japanese Industrial Standard K 0311	PCDD/PCDF, PCB apparentés aux dioxines	HRGC/HRMS	Japanese Industrial Standards Committee

L'analyse des PCDD/PCDF se fait avec la spectrométrie de masse haute résolution. Des procédures de contrôle de qualité sont nécessaires à chaque étape de l'analyse, et pour les concentrations des *spikes* récupérés, associées à la fois à l'échantillonnage et à l'extraction. Le protocole United States EPA Method 23 spécifie que toutes les récupérations devraient se situées entre 70% et 130%. Le Canada fournit des conseils détaillés sur l'assurance qualité pour l'analyse des échantillons contenant des dioxines et furanes dans une gamme de matrices différentes; voir: Reference Method EPS 1/RM/2.

La norme européenne, European Standard EN 1948, a été développée pour la détection de séparations, et la quantification des PCDD/PCDF et des PCB apparentés aux dioxines, dans des échantillons d'émissions de sources stationnaires, à des concentrations d'environ 0,1 ng TEQ/Nm³. Les Parties 1-3 donnent des détails sur l'échantillonnage; l'extraction et le nettoyage; et l'identification et quantification des PCDD/PCDF (adopté en 1996, la révision adoptée en 2006). La Partie 4 donne des détails sur la norme pour les PCB apparentés aux dioxines (adoptée en 2007).

Les limites inférieures de détection mesurées pendant la validation du test EN 1948, au site d'un incinérateur municipal de déchets solides, ont varié entre 0,0001 et 0,0088 ng/Nm³ pour les 17 congénères toxiques individuels des PCDD/PCDF (CEN 1996c; Voir aussi: CEN 1996a, 1996b);

Dans une nouvelle version provisoire du EN 1948-3 datée février 2004 (mise à jour de CEN 1996c), Annexe B, l'incertitude pour l'ensemble de la procédure est donnée pour

30–35%, et la variation externe est estimée à $\pm 0,05$ ng I-TEQ/m³ à une concentration moyenne de 0,035 ng I-TEQ/Nm³.

En tenant compte des facteurs d'équivalence toxique pour les congénères individuels, les limites globales de détection varient entre 0,001 et 0,004 ng I-TEQ/Nm³. Il est raisonnable de supposer que des concentrations inférieures à 0,001 ng I-TEQ/m³ doivent être considérées comme étant en dessous de la limite de détection.

Une étude d'Environment Canada a évalué la variabilité de l'échantillonnage et de l'analyse pour 53 ensembles de données concernant des émissions de PCDD/PCDF, sur 36 installations de combustion. On a estimé que la limite de quantification pour les PCDD/PCDF était de 0,032 ng I-TEQ/m³, bien que cette limite puisse varier selon le volume prélevé, les substances qui interfèrent, et d'autres facteurs.

On peut s'attendre à des interférences venant de composés qui ont des propriétés chimiques et physiques similaires à celles des PCDD/PCDF (CEN 1996c).

1.2 Limite de détection et limite de quantification

La «limite de détection» (LOD) est la plus petite quantité ou concentration de l'analyte, dans l'échantillon de test, qui peut être distinguée de manière fiable, à une signification donnée, du niveau de fond ou de la valeur du blanc.

La «limite de quantification» (LOQ) d'une procédure analytique est la plus faible quantité ou concentration de l'analyte, qui peut être déterminée de manière quantitative avec un niveau acceptable de précision. La limite de quantification devra être donnée s'il est nécessaire de spécifier un niveau inférieur de mesure, en dessous duquel on n'atteint pas une précision acceptable. En utilisant la méthode, il faut effectuer un nombre de déterminations indépendantes, de préférence >20, avec un échantillon qui est connu pour contenir l'analyte à environ 2 à 5 fois la limite estimée de détection. La limite de quantification est la concentration à laquelle un degré acceptable de performance, en termes de RSD% (écart standard relatif), est obtenu. Normalement, la limite de quantification correspond au niveau le plus faible de concentration standard dans la fourchette d'étalonnage.

Dans le contexte des valeurs limites réglementaires, ou pour présenter des concentrations mesurées, il n'existe pas de règle générale sur la manière de traiter les résultats en dessous du LOQ. Très souvent, les réglementations ou lois définissent la manière de présenter les résultats. Pour ce faire, on devra tenir compte des définitions suivantes:

- Limite inférieure: Les pics non-quantifiables sont mis à zéro
- Limite supérieure: LOQ complet est inclut dans la présentation des résultats

Des critères devront être fixés pour définir les limites inférieures et supérieures de concentration et la valeur qui sera communiquée, et donc le LOQ, devra être au moins 1/5 de la limite ou niveau d'intérêt réglementaire, ou la concentration de la ligne de fond.

1.3 Conditions de référence pour les gaz

Le Tableau 5 présente des conversions des conditions de référence utilisées au Canada, dans l'Union Européenne et aux Etats-Unis.

■ **Tableau 5: Conversions des Condition de Référence**

Unité	Pays/Région	Température (°C)	Pression (atm)	Conditions des gaz
Nm³ (Mètre cube normal)	Union Européenne (UE)	0	1	Sec; 11% d'oxygène pour les incinérateurs de déchets municipaux; 10% d'oxygène pour les fours à ciment; aucun niveau d'oxygène fixé pour toutes les autres installations (c'est-à-dire, les concentrations sont rapportées à la teneur actuelle d'oxygène et non sont pas normalisées à une teneur d'O ₂ quelconque)
Rm³ (Mètre cube de référence)	Canada	25	1	Sec; 11% d'oxygène pour les incinérateurs et les chaudières de pâte et de papier dans les régions côtières, niveaux d'oxygène opératoires pour les unités de frittage et les fours à arc électrique fabricant de l'acier.
Sm³ (or dscm) (Mètre cube standard, sec)	Etats Unis (U.S.)	20	1	Sec; 7% d'oxygène ou 12% de CO ₂ pour les incinérateurs et la plupart des sources de combustion.

$$0,1 \text{ ng TEQ/Nm}^3 \text{ (EU)} = 0,131 \text{ ng TEQ/Sm}^3 \text{ (U.S.)} = 0,092 \text{ ng TEQ/Rm}^3 \text{ (Canada)}$$

1.4 Méthodes d'essais biologiques

Le Japon a approuvé quatre méthodes d'essais biologiques, trois méthodes d'essais biologiques de gène rapporteur, et des méthodes immuno-essai pour enzyme, pour la mesure des émissions de dioxines dans les gaz, les poussières et les cendres des incinérateurs de déchets. Les méthodes fournissent une alternative moins coûteuse que la chromatographie gazeuse haute résolution/spectrométrie de masse et sont approuvées pour la mesure des émissions d'incinérateurs de capacité en dessous de 2 tonnes/heure (normes d'émission pour les nouvelles installations: 5 ng WHO-TEQ/Nm³) et les poussières et cendres de tous les incinérateurs de déchets (norme de traitement: 3 ng WHO-TEQ/g).

■ Tableau 6: Méthodes d'essais biologiques pour les mesures des gaz et résidus dans de petits incinérateurs de déchets

Méthode	Principe analytique	Référence
CALUX Assay	Essai de gène rapporteur	Xenobiotic Detection Systems International
P450 Human Reporter Gene System	Essai de gène rapporteur	Columbia Analytical Services
AhR Luciferase Assay	Essai de gène rapporteur	Sumitomo Chemical Co., Ltd

Il est aussi nécessaire de disposer de directives pour des programmes appropriés de suivi. A cet égard, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (UNEP, 2004) a développé des directives pour établir les priorités pour les mesures à faire, et pour minimiser le nombre des mesures nécessaires pour les études d'impact. La Commission Européenne a préparé un document de référence relatif aux principes généraux de suivi, et certaines industries et associations professionnelles se sont mises d'accord sur un programme de suivi. Des règles et législations harmonisées faciliteront aussi l'établissement et la mise en œuvre de programmes visant à suivre les rejets de substances chimiques inscrites à l'Annexe C, y compris certaines approches comme les essais biologiques pour le suivi.

2. Présentation des résultats

La présentation des résultats et d'autres informations pertinentes, est un travail très important pour permettre de répondre aux obligations des Parties au titre de l'Article 9 (Echange d'informations), de l'Article 10 (Information, sensibilisation et éducation du public) et de l'Article 11 (Recherche- développement et surveillance) de la Convention de Stockholm. Les Parties qui cherchent à utiliser les meilleures pratiques environnementales pour les sources de l'Annexe C devront inclure des mesures décrites dans ces articles, comprenant:

- Mécanismes tels que des registres consignants les rejets et les transferts de polluants, pour le rassemblement et la distribution d'informations qui soient complètes, et spécifiques sur le plan de la chimie, au sujet de la formation et des rejets des substances inscrites aux Annexes A, B ou C, accompagnées de leurs sources;
- Participation du public dans la réglementation pour les sources de produits chimiques inscrits à l'Annexe C;
- Mise à la disposition du public des données de suivi collectées auprès des sources citées à l'Annexe C (tenant compte du paragraphe 5 de l'Article 9);
- Mise à disposition, pour le public, des résultats de leurs activités de recherche, de développement et de suivi, ceci de manière appropriée et régulière (Article 11, paragraphe 2 (e)).

Une diffusion complète des informations pertinentes peut encourager et faciliter la participation du public.

Références

- Andersson S. 2005. «PCDD/F Removal from Gases Using a Dry Adiox Absorber.» *Organohalogen Compd.* 67:2226–2229.
- Association of German Engineers (VDI). 2003–2004. Emission measurement - Determination of polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs) and dibenzofurans (PCDFs) - Dilution method; Example of application of DIN EN 1948 for the concentration range 0,1 ng I-TEQ/m³ and supplement to DIN EN 194.
- Basel Convention Secretariat. 2007. *Updated General Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of Wastes Consisting of, Containing or Contaminated with Persistent Organic Pollutants (POPs)*. Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal, UNEP, Geneva.
- CEN (European Committee for Standardization). 1996a. «EN 1948-1: Sampling.» Part 1 of *Stationary Source Emissions: Determination of the Mass Concentration of PCDDs/PCDFs*. CEN, Brussels, Belgium.
- CEN (European Committee for Standardization). 1996b. «EN 1948-2: Extraction and Clean-up.» Part 2 of *Stationary Source Emissions: Determination of the Mass Concentration of PCDDs/PCDFs*. CEN, Brussels, Belgium.
- CEN (European Committee for Standardization). 1996c. «EN 1948-3: Identification and Quantification.» Part 3 of *Stationary Source Emissions: Determination of the Mass Concentration of PCDDs/PCDFs*. CEN, Brussels, Belgium.
- Environment Canada, Standard Reference Methods for Source Testing: Measurement of Releases of Selected Semi-volatile Organic Compounds from Stationary Sources, Department of the Environment Report EPS 1/RM/2 1989
- Environment Canada, A Method for the Analysis of Polychlorinated Dibenzo-Para-Dioxins (PCDD), Polychlorinated Dibenzofurans (PCDF) and Polychlorinated Biphenyls (PCB) in Samples from the Incineration of PCB Waste, Department of the Environment, Report EPS 1/RM/3, June 1989
- European Commission. 2005. *Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration*. BAT Reference Document (BREF), Final Draft, July 2005. European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm.
- Hartenstein H.U. 2003. «Dioxin and Furan Reduction Technologies for Combustion and Industrial Thermal Process Facilities.» In: *The Handbook of Environmental Chemistry* Vol. 3, Part O: *Persistent Organic Pollutants* (ed. H. Fiedler). Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg.
- Hübner C., Boos R., Bohlmann J., Burtscher K. and Wiesenberger H. 2000. *State-of-the-Art Measures for Dioxin Reduction in Austria*. Vienna. www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/M116.pdf
- UNEP (2004): Guidance for a Global Monitoring Programme for Persistent Organic Pollutants, 1st edition, June 2004. <http://www.chem.unep.ch/gmn/GuidanceGPM.pdf>
- Xu Z., Wedman E., Bucher R., Petzoldt O., Sasamoto T. and Wilkin M. 2003. «Removal and Destruction of PCDD/F from Crematories by REMEDIA TM Catalytic Filter System.» *Organohalogen Compd.* 63:216–219.

- ¹¹ World Commission on Environment and Development. 1987. www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm
- ¹² UNEP (United Nations Environment Programme). 1994. Oslo Symposium: Sustainable Consumption. Oslo, Norway, January 1994. www.iisd.org/susprod/principles.htm.
- ¹³ UNEP (United Nations Environment Programme). 2002. Environmental Impact Assessment Training Resource Manual. Page 558. www.iaia.org/Non_Members/EIA/ManualContents/Vol1_EIA_Manual.pdf.
- ¹⁴ UN DESA (United Nations Department of Economics and Social affairs) 2002 Plan of Implementation of the World Summit on Sustainable Development, page 50. [Http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/English/WSSD_PlanImpl.pdf](http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/English/WSSD_PlanImpl.pdf)
- ¹⁵ UNEP (United Nations Environment Programme). 1992. Rio Declaration on Environment and Development. Principle 15. Rio de Janeiro, Brazil, 1992. www.unep.org/Documents/Default.asp?DocumentID=78&ArticleID=1163.
- ¹⁶ Préambule à la Convention de Stockholm et le Principe 16 de la Déclaration de Rio sur l'Environnement le Développement.
- ¹⁷ Environment Canada. 1995. Pollution Prevention – A Federal Strategy for Action. www.ec.gc.ca/cppic/aboutp2/en/glossary.cfm.
- ¹⁸ European Commission. 1996. Integrated Pollution Prevention and Control Directive. 96/61/EC. europa.eu.int/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexapi!prod!CELEXnumdoc&lg=EN&numdoc=31996L0061&model=guichet.
- ¹⁹ UNEPTIE. www.uneptie.org/pc/cp/understanding_cp/home.htm.
- ²⁰ European Environment Agency. glossary.eea.eu.int/EEAGlossary.
- ²¹ UNEPTIE. www.uneptie.org/pc/sustain/reports/lcini/lc-initiative-barcelona-workshop.pdf.
- ²² Environment Canada. 1999. Canadian Environmental Protection Act, 1999. Section 65. www.ec.gc.ca/CEPARRegistry/the_act/.
- ²³ Convention d'Aarhus sur l'Accès à l'Information, la Participation du Public au Processus Décisionnel et l'Accès à la Justice en Matière d'Environnement, Commission Economique des Nations Unies pour l'Europe, www.unece.org/env/pp
- ²⁴ Les PCDD/PCDF peuvent aussi être introduits comme contaminants dans les matières premières ou déchets, et peuvent donc paraître dans des procédés dans lesquels la formation de PCDD/PCDF n'a pas lieu.
- ²⁵ Information provenant de: Srishti (New Delhi, India): <http://www.toxiclink.org/ovrvw-prog.php?prognum=1> et *Safe Management of Bio-Medical Sharps Waste in India*, SEA-EH-548, World Health Organization South-East Asia Regional Office, 2005.
- ²⁶ Les contrôles de combustion et autres facteurs qui peuvent influencer sur la formation et le rejet de substances inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm, en amont des gaz de procédé, sont décrits dans les notes de directives spécifiques par secteur (sections V et VI).
- ²⁷ 1 ng (nanogramme) = 1×10^{-12} kilogramme (1×10^{-9} gramme). Nm³ = mètre cube normal, volume de gaz sec mesuré à 0°C et 101,3 kPa. Pour des informations sur la présentation de résultats concernant les PCDD/CDF, voir section I C, sous-section 3 du présent guide.
- ²⁸ 1 m (micromètre) = 1×10^{-6} mètre
- ²⁹ Pour des conseils additionnels sur la gestion de résidus basés sur leur concentration en polluants organiques persistants (y compris lorsque cette concentration est faible, suivant la Convention de Stockholm Article 6.1 (d) (ii)), voir Basel Convention Secretariat 2005.

- ³⁰ Les sous-paragraphes au paragraphe 2 sont tirés de European Commission 2005, chapitre 2.7.3
- ³¹ Les mesures des concentrations massiques des produits chimiques inscrites à l'Annexe C provenant de rejets d'une source donnée, doivent respecter les méthodes d'échantillonnage, d'analyse, et d'évaluation
- ³² Dans la plupart des cas il n'existe des valeurs cibles que pour les PCDD/PCDF
- ³³ Pour la détermination des concentrations TEQ pour chacun des 17 congénères PCDD/PCDF qui présente le plus grand risque toxique, on obtient une valeur quantitative avec la chromatographie capillaire à gaz haute résolution couplée à un spectromètre de masse

Préambule

Cette section comprend une compilation de tous les sommaires des catégories de sources des Sections V et VI des Directives Préliminaires sur les Meilleures Technologies Disponibles et Directives Provisoires sur les Meilleures Pratiques Environnementales en relation avec l'Annexe C de la Convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants.

Chaque sommaire peut inclure l'information suivante, lorsque c'est approprié:

- Une brève description de la source, son objet et le procédé concerné;
- Le potentiel de la source pour générer les substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm, soit: les dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD), les dibenzo-furanes polychlorés (PCDF), les polychlorobiphényles (PCB) et l'hexachlorobenzène (HCB);
- Les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales pour minimiser les émissions de substances chimiques inscrites à l'Annexe C;
- Les mesures primaires et secondaires qui peuvent aider à la réduction des émissions;
- Les alternatives, là où elles sont applicables, qui peuvent être préférées aux procédés et pratiques actuellement utilisés;
- Les niveaux de performances associés aux meilleures techniques disponibles;

Résumés de la section V: catégories de sources incluses dans la Partie II de l'Annexe C

A. Les incinérateurs de déchets

(i) Déchets solides municipaux, déchets dangereux et boues d'épuration

Résumé

Les incinérateurs de déchets sont identifiés par la Convention de Stockholm comme ayant un potentiel relativement élevé pour la formation et le rejet vers l'environnement des substances chimiques inscrites à l'Annexe C.

Les objectifs visés par l'incinération des déchets comprennent la réduction du volume, la récupération d'énergie, la destruction (ou au moins la minimisation) des composants dangereux, la désinfection et la récupération d'une partie de certains résidus.

Lorsque l'on étudie des propositions pour la construction de nouveaux incinérateurs de déchets, la considération primordiale visera les alternatives possibles, par exemple la diminution de la génération des déchets, y compris la récupération, la réutilisation, le

recyclage, le tri des déchets et la promotion de produits qui génèrent moins de déchets. Cette priorité devrait aussi être appliquée aux approches qui évitent la formation et le rejet de polluants organiques persistants.

La conception et le bon fonctionnement des incinérateurs de déchets, respectant l'environnement, nécessitent l'utilisation à la fois des meilleures techniques disponibles, et des meilleures pratiques environnementales (qui dans une certaine mesure se chevauchent) pour éviter ou réduire la formation et le rejet des substances chimiques inscrites à l'Annexe C.

Les meilleures pratiques environnementales, dans le cas de l'incinération des déchets, comprennent des procédures appropriées hors du site (telles qu'une gestion globale des déchets, et une considération de l'impact sur l'environnement du choix du site), et des procédures appropriées sur le site lui-même (telles que l'inspection des déchets, la manipulation correcte des déchets, le fonctionnement de l'incinérateur, et les pratiques de gestion et la manutention des déchets).

Les meilleures techniques disponibles pour l'incinération des déchets comprennent: choix approprié du site; les déchets à l'arrivée et leur contrôle; les techniques pour la combustion et le traitement des gaz de combustion, des résidus et des effluents.

Pour obtenir les meilleurs résultats pour l'ensemble de l'environnement, il est important de coordonner le processus d'incinération des déchets avec les activités en amont (par ex. les techniques de gestion des déchets) et les activités en aval (par ex. l'élimination des résidus solides provenant de l'incinération des déchets).

Les rejets de substances inscrites à l'Annexe C des incinérateurs de déchets solides municipaux, conçus et opérés selon les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales, se trouvent surtout dans les cendres volantes, les cendres résiduelles et les gâteaux de filtration venant du traitement des eaux usées. Il est donc primordial de prévoir un site de dépôt sécurisé pour ces types de déchets, par exemple en faisant un prétraitement avec une élimination finale dans des déchargés spécialement conçus pour ces types de déchets, et opérés selon les meilleures techniques disponibles.

Avec une combinaison appropriée de mesures primaires et secondaires, des niveaux d'émission des PCDD/PCDF vers l'air inférieurs à 0,1 ng I-TEQ/Nm³ (à 11% O₂) sont associés aux meilleures techniques disponibles. On peut noter encore que dans des conditions normales de fonctionnement, des niveaux d'émission plus faibles peuvent être atteints dans une installation d'incinération bien conçue.

Les meilleures techniques disponibles pour les décharges d'eaux usées dans des unités de traitement des effluents recevant des effluents d'épurateurs de gaz de combustion, sont associées à des niveaux de concentration des PCDD/PCDF bien inférieurs à 0,1 ng /TEQ/l.

(ii) Déchets médicaux

Résumé

L'incinération de ces déchets (déchets de soins de santé infectieux, déchets de soins de santé biologiques, et pièces coupantes) dans des incinérateurs spécialisés, est effectuée

pour réduire les risques chimiques, biologiques et physiques, et pour réduire le volume de ces déchets en tant qu'étape préliminaire avant leur dépôt dans des décharges respectueuses de l'environnement.

Si le déchet médical est incinéré dans des conditions qui ne respectent pas les meilleures techniques disponibles ni les meilleures pratiques environnementales, il existe un risque de rejet des PCDD/PCDF, avec des concentrations relativement élevées. Pour les petits incinérateurs médicaux, l'application des meilleures technologies disponibles est souvent difficile, si l'on tient compte des coûts associés au bâtiment, aux opérations elles-mêmes, aux frais d'entretien et à la surveillance.

Il existe des alternatives possibles à l'incinération, comme la stérilisation (à la vapeur, à la vapeur améliorée, à la chaleur sèche), le traitement aux micro-ondes, l'hydrolyse alcaline ou le traitement biologique, chacune suivie par la mise en décharge. L'étape la plus importante dans la gestion des déchets médicaux est le tri des différents matériaux à la source. Puisque 75 à 90% des déchets des hôpitaux sont comparables aux déchets solides municipaux, le tri peut beaucoup réduire le volume des déchets médicaux. Une gestion effective des déchets comprenant leur minimisation et tri à la source, est essentielle.

Un traitement approprié des cendres résiduelles et des résidus provenant du nettoyage des gaz est essentiel pour obtenir une réduction des rejets de PCDD/PCDF dans l'environnement. L'emploi des meilleures techniques disponibles dans les incinérateurs réduira aussi les émissions d'acide chlorhydrique et de métaux lourds (en particulier le mercure) et réduira, effectivement, les rejets ultérieurs libérés par des résidus mis en décharge.

En ce qui concerne l'incinération, les mesures primaires seules réduiront de manière significative l'émission des substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm.

Toutefois, la mise en œuvre des meilleures techniques disponibles exige des mesures à la fois primaires et secondaires.

Avec une combinaison appropriée de mesures primaires et secondaires, des niveaux d'émissions de PCDD/PCDF dans l'air inférieurs à 0,1ng I-TEQ/Nm³ (à 11% d'O₂), sont associés aux meilleures techniques disponibles. Il est aussi à noter que dans des conditions normales d'opération, des concentrations plus faibles que ces valeurs peuvent être obtenues dans des incinérateurs de déchets bien conçus.

Les meilleures techniques disponibles pour les rejets d'eaux usées de stations de traitement des effluents, recevant des effluents des laveurs de gaz de combustion, sont associées à des niveaux de concentration bien inférieurs à 0,1ng I-TEQ/l.

B. Le brûlage de déchets dangereux dans les fours à ciment

Résumé

L'objet principal de ces fours est la production de clinker pour l'industrie du ciment. Le brûlage de déchets dans ces fours vise à la récupération d'énergie et à la substitution de combustibles fossiles.

Dans certains cas, des déchets dangereux sont détruits dans de telles installations.

Le procédé de fabrication de ciment comprend la décomposition du carbonate de calcium (CaCO_3), à environ 900°C , en oxyde de calcium (CaO , la chaux), la calcination, suivi de la mise en forme du clinker dans un four rotatif à environ 1450°C . Le clinker est alors broyé avec du gypse et d'autres additifs pour produire le ciment. Selon les conditions physiques et chimiques, les procédés principaux pour la production de ciment sont appelés: sec, humide, semi-sec et semi-humide.

Le procédé de combustion dans le four peut mener à la formation, puis au rejet, de substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm. De plus, il est possible qu'il se produise des rejets à partir des sites de stockage.

Des conditions de procédé bien conçues, ainsi que la mise en place de mesures primaires dans les fours à ciment sont suffisantes pour minimiser la formation et le rejet de substances chimiques inscrites à l'Annexe C, et pour atteindre des concentrations de PCDD/PCDF dans les flux de gaz inférieures à $0,1\text{ng TEQ/Nm}^3$ (teneur en oxygène de 10%), en fonction de facteurs tels que l'utilisation de combustibles propres, les matières chargées à l'entrée, la température et l'élimination des poussières. Quand nécessaire, des mesures secondaires additionnelles pour réduire de telles émissions devront être appliquées.

De nombreuses données existent sur les émissions des PCDD/PCDF dans l'air.

Les rejets des PCDD/PCDF par les poussières des fours, et peut-être par le clinker, ont été décrits dans la littérature et font l'objet actuellement d'études complémentaires. Des données sur les rejets de PCB et d'HCB sont encore rares.

Les niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales pour le contrôle des PCDD/PCDF dans les gaz de combustion, sont inférieurs à $0,1\text{ng TEQ/Nm}^3$ avec des conditions de référence de 273K, 101,3 kPa, 10% O_2 sur la base de gaz sec.

C. La production de pâte utilisant le chlore élémentaire, ou des substances chimiques générant du chlore élémentaire

Résumé

Les procédés principaux pour la fabrication de produits à base de pâte et de papier comprennent la manipulation et la préparation de matières premières, le stockage (et la conservation pour les produits autres que le bois), la séparation de l'écorce, la mise en copeaux, l'enlèvement de résidus agricoles et des nœuds, puis la fabrication de la pâte, le traitement et le blanchiment si nécessaire; finalement, la fabrication du papier ou du carton.

Parmi les substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm, seuls des PCDD/PCDF ont été identifiés comme étant produits au cours de la fabrication de la pâte à papier à l'aide de chlore élémentaire. Des 17 congénères PCDD/PCDF contenant du chlore dans les positions 2,3,7,8, seuls deux congénères – à savoir le 2,3,7,8-TCDD et le 2,3,7,8-TCDF – ont été identifiés comme étant peut-être produits au

cours du blanchiment chimique utilisant du chlore. La plus grande partie de la formation des 2,3,7,8-TCDD et 2,3,7,8-TCDF a lieu pendant l'étape C du blanchiment, par la réaction du chlore avec les précurseurs des PCDD et PCDF. Les PCB et l'HCB ne sont pas formés pendant le blanchiment de la pâte.

En résumé, les mesures primaires suivantes peuvent être appliquées pour diminuer ou éviter la formation des 2,3,7,8-TCDD et 2,3,7,8-TCDF dans les procédés de blanchiment du bois ou d'autres produits non bois: élimination du chlore élémentaire en le remplaçant par du dioxyde de chlore (blanchiment sans chlore élémentaire), ou, dans certains cas, par des procédés totalement sans chlore; réduction de l'emploi du chlore élémentaire en diminuant sa quantité ou en augmentant la substitution du chlore moléculaire par le dioxyde de chlore; minimisation des précurseurs tels que les dibenzo-*p*-dioxines et dibenzo-furanes entrant dans l'unité de blanchiment, en utilisant des additifs exempts de précurseurs et en effectuant un lavage approfondie; optimisation de l'extraction des nœuds dans le bois; éviter d'accepter des matières premières contaminées aux phénols polychlorés.

D. Les procédés thermiques dans l'industrie métallurgique

(i) Production de cuivre secondaire

Résumé

La fusion du cuivre secondaire concerne la production de cuivre à partir de ferrailles, de boues, de déchets ordinateurs et d'électronique, et de scories venant des affineurs. Les procédés utilisés dans la production du cuivre comprennent le prétraitement des matières premières, la fusion, la réalisation d'alliages, puis la coulée. Les facteurs qui pourraient être responsables pour la formation de substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm incluent la présence de métaux catalytiques (parmi lesquels le cuivre est un bon exemple); la présence de matériaux organiques entrants dans ces procédés tels que les huiles, les plastiques, les revêtements; une combustion incomplète du combustible, ainsi que l'utilisation de températures entre 250°C et 500°C.

Parmi les meilleures techniques disponibles on peut citer: le tri sélectif, le nettoyage des matières premières, le maintien des températures au dessus de 850°C, l'utilisation de post-brûleurs à trempé rapide, l'adsorption sur charbon actif et le dépoussiérage sur filtre en tissu.

Les niveaux de performance atteignables pour les PCDD/PCDF dans les émissions vers l'air associés aux meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales, pour les fonderies de cuivre secondaires, sont <0,5 ng I-TEQ/Nm³ (dans les conditions opérationnelles pour l'oxygène).

(ii) Usines de frittage dans l'industrie du fer et de l'acier

Résumé

Les usines de frittage dans l'industrie du fer et de l'acier représentent une étape de prétraitement dans la production de fer qui concerne l'agglomération par combustion

des fines particules de minerai de fer, et dans certaines usines, des déchets d'oxyde de fer secondaires (poussières récupérées, résidus de broyage). Le frittage comprend le chauffage de minerai de fer fin avec un fondant et du coke fin, ou du charbon, pour donner une masse semi fondue qui se solidifie en petites pièces frittées poreuses, avec la dimension et les caractéristiques nécessaires pour l'alimentation du haut fourneau.

Il semble que les substances inscrites à l'Annexe C sont formées au cours du procédé de frittage du fer par synthèse *de novo*. Les PCDF semblent dominer généralement, dans les gaz émis par les unités de frittage. La formation des PCDD/PCDF doit commencer dans les zones supérieures du lit de frittage, juste après allumage; les dioxines, les furanes et autres composés se condensent sur la charge plus froide sous-jacente, au fur et à mesure que le lit avance sur la bande vers le point de brûlage.

Les mesures primaires qui peuvent permettre d'éviter ou de minimiser la formation de PCDD/PCDF pendant le frittage du fer comprennent un fonctionnement régulier et constant de l'unité de frittage, un suivi des paramètres en continu, la re-circulation des gaz de procédé, la réduction des matériaux d'apport contaminés par des polluants organiques persistants, ou par des contaminants susceptibles de former de tels polluants, et une bonne préparation des matériaux alimentant le four.

Les mesures secondaires identifiées pour contrôler ou réduire les rejets de PCDD/PCDF des usines de frittage de fer incluent l'adsorption/l'absorption (par ex., injection de charbon actif), la suppression de la formation en injectant de l'urée, et un dépoussiérage à haute efficacité, ainsi qu'un lavage humide poussé des gaz de procédé, combiné à un traitement poussé des eaux provenant du lavage, et l'élimination des boues résiduelles dans une décharge sécurisée.

Les niveaux de performance pour les émissions des PCDD/PCDF dans l'air, associés aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales pour les usines de frittage du fer, sont <0,2 ng I-TEQ/Nm³ (dans les conditions opérationnelles pour l'oxygène).

(iii) Production d'aluminium secondaire

Résumé

La fusion de l'aluminium secondaire concerne la production d'aluminium à partir de déchets d'aluminium pour en récupérer des métaux par prétraitement, fusion et affinage.

On utilise des combustibles, des fondants et des alliages, tandis que l'extraction du magnésium est effectuée par addition de chlore, de chlorure d'aluminium ou d'organochlorés. La formation de substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm résulte probablement de produits injectés pour enlever le magnésium, d'une combustion incomplète, de matières organiques dans les produits au départ, de composés chlorés et de formation dans le procédé à des températures entre 250°C et 500°C.

Les meilleures techniques disponibles incluent des fourneaux haute température du dernier modèle, des matières premières exemptes d'huiles et de chlore (si des alternatives sont disponibles), des post-brûleurs à trempe rapide, une adsorption sur charbon actif, et enfin des filtres en tissu pour arrêter les poussières, et aussi de ne pas

utiliser l'hexachloréthane pour l'enlèvement du magnésium du bain en fusion (le *demagging* en anglais); aussi de bien contrôler ces opérations de *demagging*.

Les niveaux de performance pour les émissions des PCDD/PCDF dans l'air, associés aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales pour les fonderies d'aluminium secondaires, sont <0,5 ng TEQ/Nm³ (dans les conditions opérationnelles pour l'oxygène).

(iv) Production de zinc secondaire

Résumé

Les fonderies de zinc secondaire impliquent la production de zinc à partir de matériaux tels que les poussières issues de la production d'alliages de cuivre et de la production d'acier par arc électrique, ainsi que de résidus provenant du déchetage de ferraille d'acier et de procédés de galvanisation.

Les procédés de production comprennent différentes étapes: le tri, le nettoyage préalable, le broyage, un traitement de ressuage à 364°C, le four de fusion, l'affinage, la distillation et la production d'alliage. La présence d'huiles et de plastiques dans les matières premières, et des températures entre 250°C et 500°C, peuvent mener à la formation de substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm.

Les meilleures techniques disponibles incluent le nettoyage des matières premières, le maintien des températures à plus 850°C, la collecte des gaz et fumées, l'utilisation de post brûleurs à refroidissement rapide, l'adsorption sur charbon actif et des filtres en tissu pour les poussières.

Les niveaux de performance pour les émissions des PCDD/PCDF dans l'air, associés aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales, pour les fonderies de zinc secondaire sont <0,5 ng TEQ/Nm³ (dans les conditions opérationnelles pour l'oxygène).

Résumé de la section VI: catégories de sources incluses dans la Partie III de l'Annexe C

A. La combustion à ciel ouvert de déchets, y compris dans les décharges

Résumé

Le brûlage à ciel ouvert est un procédé inacceptable pour l'environnement, qui génère des substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm, ainsi que de nombreux autres polluants formés lors d'une combustion incomplète. Comme il est indiqué dans l'Annexe C, Partie V, section A, sous paragraphe (f) de la Convention de Stockholm, le meilleur conseil à donner est de réduire le volume global des déchets qui sont éliminés par cette technique, avec l'objectif final d'arriver à une élimination totale.

D'autres techniques qui peuvent contribuer à une amélioration comprennent, en fonction des matériaux brûlés: éviter l'apport de matières non combustibles, comme le verre et les métaux en vrac, de déchets mouillés et des matières qui ne brûlent que difficilement; éviter les apports de déchets à haute teneur en chlore, que ce soit du chlore inorganique comme le sel, ou des produits chlorés organiques tels que le PVC; et éviter des matières contenant des métaux catalytiques comme le cuivre, le fer, le chrome et l'aluminium, même en faible quantité. Les matières à brûler doivent être sèches, homogènes ou bien mélangées, de faible densité, comme par exemple les déchets non compactés.

Concernant les procédés de combustion, les objectifs devraient inclure: un apport suffisant d'air, le maintien d'une combustion ou d'un taux constant de perte de poids; la réduction autant que possible du brûlage lent avec une insuffisance d'air, avec une extinction directe si possible; et utilisation des petits feux, souvent retournés et bien ventilés, plutôt des feux dans les grandes décharges ou dans des conteneurs mal ventilés.

B. Les procédés thermiques dans l'industrie métallurgique autres que ceux mentionnés dans l'Annexe C, Partie II

(i) Production de plomb secondaire

Résumé

Les fonderies de plomb secondaires impliquent la production du plomb et de ses alliages, surtout à partir de batteries d'automobiles mises au rebut, et aussi d'autres sources de plomb (tuyauteries, pâte à souder, crasses, gaines en plomb, etc...). Les procédés de production comprennent le prétraitement de ferrailles, la fusion et l'affinage. La présence d'huiles et de plastiques dans ces matières premières, ainsi que des températures entre 250°C et 500°C, peuvent mener à la formation de substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm.

Les meilleurs techniques disponibles comprennent l'utilisation de matières d'apport sans huile ni plastique, des fours à haute température au-dessus de 850°C, la récupération et le traitement de gaz adaptés, des post brûleurs et trempe rapide, une adsorption sur charbon actif et des filtres en tissu pour les poussières.

Les niveaux de performance pour les PCDD/PCDF associés aux meilleures techniques disponibles dans les fonderies de plomb de deuxième fusion sont <0,1 ng I- TEQ/ Nm³ (dans les conditions opérationnelles pour l'oxygène).

(ii) Production d'aluminium primaire

Résumé

L'aluminium de première fusion est directement produit à partir du minerai, la bauxite. La bauxite est affinée par le procédé Bayer, en passant par l'alumine. L'alumine est réduite en aluminium métal par électrolyse, dans le procédé Hall-Heroult (en utilisant des anodes auto-frittées, type Soderberg, ou des électrodes précuites).

On pense que la production d'aluminium primaire n'est pas une source significative de génération des substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm. Cependant, une contamination par des PCDD/PCDF est possible à cause des électrodes en graphite utilisées dans le procédé de fusion électrolytique.

Les techniques possibles pour réduire la production et le rejet des substances chimiques inscrites à l'Annexe C, dans ce secteur d'activité, comprennent une production et un contrôle des anodes améliorés, ainsi que l'utilisation de procédés de fusion modernes. Les niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles pour les émissions des PCDD/PCDF dans l'air, dans le secteur de l'aluminium primaire sont <0,1ng I- TEQ/Nm³ (dans les conditions opérationnelles pour l'oxygène).

(iii) Production de magnésium

Résumé

Le magnésium est produit soit à partir de chlorure de magnésium brut par une électrolyse en bain de sels fondus, soit par la réduction à haute température d'oxyde de magnésium avec du ferrosilicium ou de l'aluminium, ou encore par la récupération secondaire de magnésium (par ex., à partir de résidus de l'extraction d'amiante).

L'addition de chlore ou de chlorure, la présence d'anodes en carbone et des températures élevées dans le procédé, peuvent mener à la formation de substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm, et leur rejet dans l'air et dans l'eau.

Des techniques alternatives peuvent inclure l'élimination de la source de carbone, en utilisant des anodes autres que le graphite, et l'emploi de charbon actif. Cependant, la performance atteignable dépend de la manière de procéder, et aussi des contrôles effectués pour les rejets dans l'air et les eaux.

(iv) Production d'acier secondaire

Résumé

L'acier secondaire est obtenu par la fusion directe de ferrailles en utilisant un four à arc électrique. Le four fait fondre, et affine une charge métallique de ferrailles d'acier, pour produire du carbone, des alliages et des aciers inoxydables, ceci dans des installations d'acier non intégrées. L'apport de métaux ferreux peut inclure des ferrailles, comme des voitures déchiquetées et des tournures de métaux, ou bien du fer directement réduit. En plus, on peut ajouter les ferrailles dans d'autres fours de fusion dans la fonderie et dans les secteurs du fer et de l'acier.

Les substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm, comme les PCDD/PCDF sont le plus probablement formées dans des fours à arc électrique, par une synthèse *de novo* pendant la combustion de matières organiques non chlorées comme le polystyrène, le charbon et des particules de carbone, en présence de produits fournissant du chlore. Beaucoup de ces substances sont présentes à l'état de traces dans les ferrailles d'acier, ou bien sont des matières premières du procédé, comme le carbone injecté.

Les mesures primaires incluent un traitement approprié des gaz produits et un conditionnement adapté de ces gaz pour éviter de réunir les conditions favorables à la synthèse *de novo* de PCDD/PCDF. Ces mesures peuvent nécessiter des brûleurs de post-combustion, suivis d'une trempe rapide des gaz produits. Les mesures secondaires comprennent l'injection d'adsorbants (par ex. des charbons actifs) avec un dépoussiérage poussé à l'aide de filtres en tissu.

Les niveaux de performance pour les émissions des PCDD/PCDF vers l'air, associés aux meilleures techniques disponibles pour la production de l'acier secondaire, sont de $<0,1 \text{ ng /Nm}^3$ (dans les conditions opérationnelles pour l'oxygène).

(v) La fusion primaire des métaux de base

Résumé

La première fusion des métaux de base comprend l'extraction et l'affinage de nickel, de plomb, de cuivre, de zinc et de cobalt. Généralement, ces fonderies traitent des concentrés de minerais. La plupart des fonderies primaires ont la capacité technique d'accepter l'addition de matériaux secondaires (par ex. des matériaux recyclables) aux concentrés

Les techniques de production peuvent inclure des procédés pyro-métallurgiques ou hydro-métallurgiques. On pense que les substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm ont leur origine dans les procédés métallurgiques thermiques à haute température; les procédés hydro métallurgiques ne sont donc pas considérés dans cette section décrivant les meilleures techniques disponibles pour les fonderies de métaux de base primaires.

Des informations disponibles à propos des émissions de PCDD/PCDF, venant des secteurs variés (par ex. les incinérateurs, les fours à arc électrique, les usines de frittage du fer), suggèrent que les techniques et technologies des procédés, associées au traitement des gaz produits, peuvent avoir une influence sur la formation, puis le rejet des PCDD/PCDF. Quand on envisage la construction et la mise en service de nouvelles installations ou de nouveaux procédés pour ce genre de fonderie, on devrait considérer les procédés hydro-métallurgiques comme des alternatives aux procédés pyro-métallurgiques, lorsque ceci est faisable techniquement et économiquement.

Les mesures primaires comprennent l'emploi de procédés hydro-métallurgiques, le contrôle qualité des matières premières et des ferrailles, pour réduire les contaminants pouvant mener à la formation de PCDD/PCDF, des systèmes de contrôle de procédé efficaces, et l'utilisation de technologies de fonte-flash. Les mesures secondaires identifiées incluent le lavage haute performance des gaz et la conversion du dioxyde de soufre en acide sulfurique, une récupération effective des gaz et fumées, et une élimination très efficace des poussières.

Les niveaux de performance que l'on peut atteindre pour les émissions des PCDD/PCDF dans l'air, associés aux meilleures techniques disponibles, pour les fonderies de métaux de base, sont $<0,1 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$ (aux conditions opérationnelles pour l'oxygène).

C. Les sources de combustion résidentielles

Résumé

Cette section considère la combustion du bois, du charbon et de gaz, principalement dans le cadre du chauffage des habitations et pour les poêles de cuisine. La combustion a lieu dans des petits fours, des cheminées et, dans le cas d'installations de chauffage central plus grandes, dans des installations à brûler automatiques. Des études montrent que des concentrations significatives de substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm sont émises à partir des sources de combustion domestiques. Les quantités de substances émises dépendent d'abord du combustible utilisé (déchets domestiques, bois flottant imprégné de sel, et bois traité qui sont des sources significatives de sources PCDD/CPCDF), puis de l'efficacité de combustion. Cette efficacité de combustion dépend de la température de combustion, de l'efficacité de mélange des gaz, du temps de résidence, d'un apport suffisant d'oxygène et des caractéristiques du combustible. A cause de leur grand nombre, les appareils de combustion domestiques contribuent de manière significative aux rejets globaux des substances chimiques inscrites à l'Annexe C.

Il est d'une importance primordiale d'utiliser des combustibles non traités pour la cuisine et le chauffage, afin de réduire la formation et le rejet de substances chimiques inscrites à l'Annexe C. Parmi les stratégies pour minimiser ces rejets de produits de la liste de l'Annexe C, issus de sources de combustion résidentielles, on peut citer: l'éducation du public, ainsi que la mise en place de programmes de sensibilisation et de formation, sur l'utilisation correcte des appareils, sur l'emploi de combustibles appropriés, et sur les impacts sur la santé des combustions domestiques mal contrôlées. Les technologies de réduction fréquemment utilisées dans l'industrie ne sont pas généralement disponibles pour les plus petits appareils domestiques utilisés pour le chauffage et les poêles.

Cependant, l'utilisation de fours améliorés et plus efficaces, serait un excellent moyen de réduire les émissions de substances chimiques inscrites à l'Annexe C, tout en contribuant à l'amélioration de la qualité de l'air de l'habitat.

Les meilleures techniques disponibles comprennent des brûleurs à faible émission équipés de conduites pour les gaz de combustion, et aussi l'utilisation de bois sec et bien vieilli. Dans les pays où ces combustibles et dispositifs ne sont pas disponibles, les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales comprennent la séparation des combustibles et des déchets domestiques, pour éviter que l'on brûle de tels déchets dans des appareils de chauffe et des poêles de cuisine. Dans tous les pays, il est nécessaire d'éviter l'utilisation de bois traité et de bois flottant imprégné de sel, ainsi que l'utilisation de plastiques pour allumer un feu, ou comme combustibles.

De faire la cuisine et de chauffer avec du bois sont des pratiques courantes et significatives dans tous les pays du monde. Toute action visant à réduire les émissions des produits chimiques de la liste de l'Annexe C, dans les installations domestiques, devra tenir compte de facteurs locaux sociaux, culturels et économiques. Des cas d'études venant de l'Australie et de la Nouvelle Zélande sont fournis pour souligner cet aspect.

D La combustion de combustibles fossiles dans les chaudières de centrales et les chaudières industrielles

Résumé

Les chaudières pour la production d'électricité et les chaudières industrielles sont conçues pour brûler du carburant, pour chauffer de l'eau ou pour produire de la vapeur pour la génération d'électricité ou pour des procédés industriels. Les concentrations en volume des substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm, qui peuvent se trouver dans les émissions de ces types de chaudières à combustible fossile, sont généralement très basses. Cependant, la quantité totale des émissions peut être significative en raison de l'importance de l'utilisation de combustibles fossiles, en termes de tonnage et de distribution, lors de la production d'électricité et de chaleur, ou de vapeur.

Les mesures qui peuvent être prises pour réduire la formation et le rejet des substances chimiques inscrites à l'Annexe C comprennent: le maintien de bonnes conditions de combustion à l'intérieur de la chaudière, en assurant un temps assez long pour que la combustion soit complète; la prise de dispositions pour éviter que le carburant ne soit contaminé par des PCB, HCB ou du chlore, et pour qu'il soit pauvre en composants connus pour agir comme catalyseurs de la formation de PCDD et de PCDF; l'utilisation de méthodes appropriées d'épuration des gaz, afin de réduire les émissions qui peuvent contenir des polluants; enfin, l'adoption de stratégies appropriées pour la mise en décharge, le stockage, ou l'utilisation régulière des cendres recueillies.

Les niveaux des émissions dans l'air des PCDD/PCDF, associés aux meilleures techniques disponibles, peuvent être nettement inférieurs à 0,1ng I-TEQ/Nm³ (teneur en oxygène: 6% pour les combustibles solides; 3% pour les combustibles liquides).

E Les installations de brûlage de bois et de combustibles issus de la biomasse

Résumé

Le but principal de ce type d'installation, qui brûle du bois et d'autres combustibles à base de biomasse, est la conversion d'énergie. Les installations à grande échelle utilisant le bois ou autres combustibles à base de biomasse, sont normalement à lit fluidisé ou à foyer à grille. Pour les unités de petite dimension, on utilise des technologies comme des fourneaux alimentés par le bas, et des fourneaux à cyclone en suspension. Les chaudières de récupération dans l'industrie de la pâte et papier emploient des conditions de combustion spécifiques. La technologie choisie est fonction des propriétés du carburant et des capacités thermiques requises.

Les substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm peuvent résulter du brûlage de bois ou d'autre biomasse, particulièrement dans le cas d'une contamination de ces combustibles. Pour les unités brûlant de la biomasse, en particulier le bois, les niveaux de performance pour les émissions de PCDD/PCDF associés aux meilleures techniques disponibles sont généralement inférieurs à 0,1ng I-TEQ/Nm³.

Parmi les mesures primaires, le contrôle du combustible est primordial (y compris l'exclusion de tout bois traité). Les mesures de contrôle pour la biomasse non contaminée comprennent des techniques de combustion optimisées et l'extraction des poussières. La combustion de paille augmente l'encrassement des surfaces et nécessite des techniques de combustion qui ne sont pas sensibles à la scorification des cendres.

Dans de telles installations, il faudrait éviter de brûler de la biomasse contaminée, telle que des déchets de bois. Les cendres volantes, en particulier les fractions les plus fines provenant de la combustion de biomasse, doivent être mises en décharge à cause de leurs teneurs élevées en métaux lourds. Dans beaucoup de pays (y compris l'Union Européenne), le bois traité avec des composés chlorés ou des métaux lourds est considéré comme un déchet, et est soumis à ce titre aux directives ou réglementations concernant l'incinération de déchets.

D'autres facteurs bénéfiques pour l'environnement qui résultent de l'adoption des meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales, sont la préservation de ressources et le fait d'éviter la formation d'émissions de dioxyde de carbone venant des combustibles fossiles (en cas de substitution).

F Les procédés spécifiques de production de substances chimiques entraînant des rejets de substances inscrites à l'Annexe C

Résumé

Cette section est focalisée sur les procédés de fabrication de produits chimiques qui pourraient théoriquement donner naissance aux polluants organiques persistants (particulièrement ceux de la liste en Annexe C de la Convention de Stockholm). La plupart des procédés décrits partage des étapes communes, incluant par exemple la chloration de matières premières organiques ou inorganiques, la purification des produits, la séparation des flux de produits (en général, par distillation), la destruction de sous-produits à poids moléculaire élevé, et le recyclage ou la vente d'HCl. Une séparation et une destruction efficaces des sous-produits organiques chlorés, qui peuvent inclure des polluants organiques persistants, sont primordiales et sont possibles en appliquant à ces procédés les meilleures techniques disponibles, sans oublier les conseils additionnels au sujet de toute étape d'incinération qui pourrait être incorporée. Pour certains produits, on présente aussi ici des procédés récents, produisant moins de polluants organiques persistants. On fournit une gamme de normes de performance associées aux meilleures techniques disponibles pour les différents procédés.

G Les fours crématrices

Résumé

Depuis très longtemps et jusqu'à nos jours, la crémation a été une pratique religieuse et culturelle importante, dans de nombreuses régions et cultures, étant une manière d'aborder le problème de la mort des humains. Dans beaucoup de cas, la crémation fait

partie intégrale des pratiques religieuses et funéraires d'un pays ou culture particulière; pour d'autres, c'est une alternative volontaire à l'enterrement. Ces directives ne cherchent pas à mettre en cause ces pratiques ou à diminuer leur signification auprès des personnes concernées. Au contraire, pour ces pays où la crémation est pratiquée, et eu égard à la Convention de Stockholm, ces directives cherchent à fournir des approches qui minimisent ou éliminent la formation et les rejets de substances chimiques inscrites à l'Annexe C pendant le processus de crémation.

La formation et le rejet des PCDD, PCDF, HCB et PCB émis à partir des fours crématoires sont possibles à cause de la présence de matières chlorées, de précurseurs et de chlore dans les cadavres et dans quelques objets plastiques brûlés simultanément. Les mesures pour diminuer la formation et le rejet de ces produits, incluraient la nécessité d'éviter la présence de matériaux chlorés, une bonne conception des fours crématoires pour assurer une température de 850°C, un temps de résidence de 2 secondes pour les gaz de combustion, et suffisamment d'air pour assurer une combustion complète. Les fours crématoires nouveaux, plus importants, devraient aussi être équipés d'appareils de contrôle de la pollution de l'air, et de dispositifs pour réduire les émissions du dioxyde de soufre, d'acide chlorhydrique, du monoxyde de carbone, des composés volatiles organiques, de poussières et de polluants organiques persistants. Des niveaux de performance pour les émissions de PCDD/PCDF vers l'air <0,1ng I-TEQ/ Nm³ sont associés aux meilleures techniques disponibles.

H Les véhicules à moteur, notamment ceux utilisant de l'essence au plomb

Résumé

Les principaux carburants pour véhicules à moteurs sont l'essence et le diesel. Le gaz de pétrole liquéfié, les biocarburants à base de végétaux et autres, et les mélanges alcool-essence, gagnent en importance.

Des PCDD et PCDF ont été trouvés dans les émissions des moteurs fonctionnant au diesel ou à l'essence. Les plus hautes concentrations identifiées dans les émissions de véhicules à l'essence au plomb sont dues à la présence de produits chlorés et bromés (*scavengers* en anglais), ajoutés volontairement dans le carburant.

Comme alternatives à l'essence au plomb, on trouve: l'essence sans plomb (mieux avec catalyseur); le diesel (mieux quand équipé de catalyseur d'oxydation du diesel, et de filtre à particules); le gaz de pétrole liquéfié, le gaz naturel comprimé; le butane/propane; les biocarburants; et les mélanges alcool-essence.

Les meilleures techniques disponibles comprennent l'interdiction de *scavengers* halogénés, et l'équipement de véhicules à moteur avec des catalyseurs d'oxydation ou des filtres à particules.

Il n'existe pas de données mesurées pour les bio-carburants, les mélanges essence-alcool ou les gaz liquéfiés, ni pour les moteurs deux-temps.

I La destruction de carcasses d'animaux

Résumé

La formation et l'émission de PCDD, PCDF, PCB et HCB en provenance d'incinérateurs de carcasses d'animaux sont dues à la présence de ces matières chlorées, de précurseurs et de chlore dans les carcasses, ou dans des matières plastiques qui peuvent être brûlées en même temps que les carcasses, et d'autres produits. Les mesures qui peuvent être prises pour diminuer la formation et le rejet des polluants organiques persistants comprennent: éviter d'incinérer d'autres déchets en même temps que les carcasses, et assurer une température du four de 850°C avec un temps de résidence de 2 secondes pour les gaz de combustion, avec suffisamment d'air pour assurer une bonne combustion. Les unités plus importantes (>50kg/h) devront être équipées de systèmes de contrôle de la pollution de l'air afin de réduire les émissions de dioxyde de soufre, de HCl, de monoxyde de carbone, de composés organiques volatiles, de petites particules et de polluants organiques persistants. Des niveaux de performance <0,1ng I-TEQ/Nm³ peuvent être atteints pour les PCDD/PCDF, pour les émissions vers l'air.

On ne pense pas que d'autres méthodes d'élimination telles que l'enterrement, l'enfouissement ou le compostage contribuent de manière significative à l'émission de produits chimiques de l'Annexe C, bien que les nuisances environnementales, la santé publique et les conséquences de santé pour les animaux ne doivent pas être négligées. La digestion par hydrolyse alcaline est une technique à envisager pour la destruction des carcasses d'animaux.

J La teinture des textiles ou du cuir (au chloranile) et la finition (extraction alcaline)

Résumé

Des contaminations par des PCDD/PCDF ont été observées dans les produits à base de textile et de cuir. Ces contaminations sont dues: à l'usage de produits chimiques chlorés, en particulier le pentachlorophénol et le chloronitroféne, pour protéger la matière de base (par ex. coton, laine ou autres fibres, cuir), et à l'usage de colorants contaminés à la dioxine (par ex. dioxazines ou phtalocyanines). Des quantités plus faibles de PCDD/PCDF peuvent être formées au cours des opérations d'apprêtage, et au cours de l'incinération des boues générées par les procédés.

Des alternatives à la liste des pigments de teinture cités ci-dessus existent et ceux-ci ne devraient pas être utilisés.

Des alternatives possibles au pentachlorophénol et au chloronitroféne sont: le 2-(thiocyanométhylthio)-benzothiazole (TCMTB); le o-phenylphénol (oPP) 4-chloro-3-méthylphénol (CMK), et le 2-n-octyl-4-isothiazoline-3-one (OIT).

Concernant les meilleures techniques disponibles, la mesure primaire la plus efficace pour éviter la contamination des cuirs et tissus avec des PCDD/PCDF, serait de ne pas utiliser de biocides et colorants contaminés à la dioxine dans les chaînes de production. Aussi, dans le cas où l'un des produits chimiques mentionnés ci-dessus est employé, la

préférence devrait être donnée à des lots à faible concentration de ceux-ci (par ex. produits chimiques distillés ou autrement purifiés). Afin d'éviter ou de minimiser la formation de PCDD/PCDF, le brûlage de textiles, de rembourrage, de produits à base de cuir, et de tapis devrait être évité, autant que possible.

Afin d'éviter ou de minimiser la formation et le rejet des PCDD/PCDF lors de l'incinération des boues provenant des traitements des eaux et de la flottation, les meilleures techniques disponibles décrites dans la section VI.D des présentes directives (chaudières industrielles et de production d'électricité à combustibles fossiles) devraient être appliquées. Cependant d'autres techniques écologiquement rationnelles devraient aussi être explorées.

K Les installations de broyage des épaves de véhicules

Résumé

Les usines de broyage d'épaves de véhicule sont données dans l'Annexe C de la Convention de Stockholm comme une source à risque pour la formation et le rejet de substances chimiques inscrites à l'Annexe C. Les broyeurs sont de grandes machines, équipées à l'intérieur d'une ou de plusieurs enclumes ou de barres de broyage, et revêtues de plaques en alliage d'acier anti-abrasion. Un moteur électrique mue les marteaux auto-balanceurs en alliage d'acier. En dessous se trouve un bac vibrant qui reçoit le matériau déchiqueté déchargé à travers des grilles. Typiquement, un flux de métal ferreux est produit, qui est relativement propre et qui est composé de petits (50 mm) morceaux d'acier et de bourre (*fluff* en anglais) constituée de fragments de métaux non ferreux et d'autres matériaux qui se trouvaient à l'entrée du broyeur (appelé aussi «défragmenteur»).

Il n'y a que très peu de mesures publiées sur les gaz de cheminée des broyeurs. Cependant, des résultats de quelques études ont mis en évidence des niveaux de PCDD/PCDF dans les émissions vers l'air, supérieurs à 0,1 ng I-TEQ/m³. A présent, il n'y a pas de preuves suffisantes pour indiquer que la destruction (mécanique) de véhicules, d'équipements électriques domestiques ou d'autres dispositifs électriques puissent générer des dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD), des dibenzo-furanes polychlorés (PCDF), ou des polychlorobiphényles (PCB) qui n'étaient pas présents au départ. Les données disponibles indiquent que les PCDD/PCDF et PCB rejetés par les unités de destruction, viennent de produits industriels fabriqués intentionnellement, qui ont été introduits avec les huiles, les fluides diélectriques et autres matériaux contenues dans ces véhicules, ou dans des produits de grande consommation, qui sont tout simplement libérés par ce procédé mécanique de destruction.

De toute manière, des mesures sont à prendre pour prévenir les feux accidentels (qui peuvent résulter dans la formation de substances chimiques inscrites à l'Annexe C) dans de telles usines. Les bourres légères produites par le déchiqueteur sont composées de films plastiques inflammables et de poussières fibreuses, ce qui implique la nécessité de la mise en place d'un contrôle stricte pour éviter des feux accidentels. Normalement on installe des systèmes de suppression de poussières (par ex. un déchiquetage humide), ou des systèmes de collecte de poussières (par ex. des cyclones, des laveurs venturi ou des filtres à manches) pour le traitement de véhicules en fin de vie. Des systèmes de

suppression et d'extraction des poussières aideront à réduire les possibilités d'émission de polluants organiques persistants. Pour améliorer le contrôle des émissions de poussières, les résidus fins et secs devront être stockés d'une telle manière que leur dispersion est minimisée. D'autres sources de précurseurs de dioxines, qui peuvent entraîner la formation de PCDD/PCDF lors d'une combustion, sont les condensateurs PCB, les huiles et textiles contaminés aux PCB ou au chlorobenzène, et les polymères contenant des produits ignifuges bromés (formation de dibenzo-*p*-dioxines polybromés (PBDD) et de dibenzofuranes polybromés (PBDF) comme contaminants).

L Le chauffage lent de câbles de cuivre

Résumé

Les déchets de cuivre sont souvent récupérés en chauffant à l'air libre les revêtements en plastique qui se trouvent sur des câbles et fils électriques. Les substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm sont probablement formées à partir de ces plastiques et de traces d'huile en présence de cuivre, qui agit en tant que catalyseur à des températures de brûlage entre 250°C et 500°C.

Les meilleures techniques disponibles comprennent: le hachage mécanique des câbles, la séparation du revêtement, et l'incinération à des températures >850°C. On peut aussi envisager de fixer un prix attractif pour les câbles et fils non décapés, ce qui encouragerait les professionnels de ce type de matériaux à remettre les lots à récupérer aux fonderies utilisant les meilleures techniques disponibles pour leur traitement.

Les niveaux de performances associés aux meilleures techniques disponibles ne sont pas applicables, car le procédé de brûlage lent de câbles n'est pas une meilleure technique disponible, ni une meilleure pratique environnementale, et ne devrait pas être appliqué pour des câbles en cuivre.

M Les raffineries d'huiles usées

Résumé

Les installations de raffinage des huiles usées sont inscrites dans l'Annexe C de la Convention de Stockholm comme étant des sources à risque pour la formation et le rejet de produits de l'Annexe C.

Pour les besoins de cette section des directives, les déchets d'huile (ou huiles usées) sont définis comme toute huile à base de pétrole, huile synthétique, ou huile à base animale ou végétale qui a déjà été utilisée. Les huiles usagées ont deux sources principales: les huiles usagées industrielles, et les huiles usées d'origine végétale et animale. Parmi les déchets d'huiles venant de l'industrie, on peut identifier trois grandes catégories: l'huile industrielle (par ex. l'huile hydraulique, les huiles de lubrification moteur, les huiles de coupe); l'huile des garages et ateliers; et l'huile des transformateurs.

Il a été constaté que les huiles usées pouvaient être contaminées aux dibenzo-*p*-dioxines polychlorés, aux dibenzofuranes polychlorés, et aux polychlorobiphényles. A présent, on

n'a pas pu mettre en évidence de preuves indiquant que les dibenzo-*p*-dioxines polychlorés, les dibenzofuranes polychlorés, et les polychlorobiphényles étaient nouvellement créés dans les raffineries d'huiles usées. Les données disponibles indiquent que les dibenzo-*p*-dioxines polychlorés, les dibenzofuranes polychlorés, et les polychlorobiphényles rejetés par ces raffineries, et par des unités de gestion et de manutention d'huiles usées, proviennent de la production intentionnelle de PCB ou de chlorobenzènes qui sont présents dans les huiles usées, soit par une contamination dans le procédé de synthèse (de ces produits chimiques), soit par une contamination pendant la phase d'utilisation ou pendant un procédé de recyclage antérieur. En ce sens, les raffineries d'huiles usées représentent une source de distribution des substances inscrites à l'Annexe C, plutôt qu'une source de formation de ces produits.

Selon les informations disponibles, les options de gestion des huiles usées comprennent: la réutilisation ou la régénération, le craquage thermique, et l'incinération ou l'utilisation comme combustible. Il faut noter que la mise en décharge et le brûlage à l'air libre se pratiquent aussi, dans de nombreux pays.

Pour des informations sur l'élimination d'huiles usées dans les incinérateurs ou comme carburant, les sections pertinentes de ces directives devraient être consultées (section V.A, les incinérateurs de déchets; V.B, le brûlage de déchets dangereux dans les fours à ciment; VI.A, la combustion à ciel ouvert de déchets; VI.C, les sources de combustion résidentielles; VI.D la combustion de combustibles fossiles dans des chaudières de centrales et les chaudières industrielles).



<http://www.pops.int>

UNEP/SSC/BATBEP/2008/1

Section V.I.V
Section V.I.L
Section V.I.K
Section V.I.J
Section V.I.H
Section V.I.G
Section V.I.F
Section V.I.E
Section V.I.D
Section V.I.C
Section V.I.B
Section V.I.A
Section V.D
Section V.C
Section V.B
Section V.A
Sections I-IV

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

Les incinérateurs de déchets



Le contenu de cette publication peut être reproduit à des fins éducatives ou sans but lucratif, dans son intégralité ou en partie, quelque soit le format, sans autre permission spéciale, pourvu que la source soit parfaitement identifiée. Le Secrétariat de la Convention de Stockholm et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) souhaiteraient recevoir une copie de tout ouvrage utilisant cette publication comme référence. Cette publication ne peut faire l'objet de revente ou toute autre activité commerciale sans l'accord préalable et par écrit du PNUE.

Publiée par le Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en octobre 2008. Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser au:

Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Genève, Suisse
ssc@pops.int - www.pops.int

Mise en page et impression par: SRO-Kundig - Genève

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

T A B L E D E S M A T I È R E S

SECTION I: INTRODUCTION

- I.A** OBJECTIF
- I.B** STRUCTURE DU DOCUMENT ET UTILISATION DES DIRECTIVES ET CONSEILS
- I.C** PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C: DÉFINITIONS, RISQUES, TOXICITÉ
- I.D** ARTICLE 5 ET L'ANNEXE C DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- I.E** LIEN AVEC LA CONVENTION DE BÂLE
- I.F** LIEN AVEC D'AUTRES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

SECTION II: CONSIDÉRATIONS D'ALTERNATIVES DANS L'APPLICATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

- II.A** CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES DANS LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- II.B** LA CONVENTION DE STOCKHOLM ET LES SOURCES NOUVELLES
- II.C** UNE APPROCHE À LA CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES
- II.D** AUTRES CONSIDÉRATIONS DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM

SECTION III: MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES: DIRECTIVES, PRINCIPES ET CONSIDÉRATIONS CROISÉES

- III.A** DIRECTIVES
- III.B** PRINCIPES ET APPROCHES GÉNÉRAUX
- III.C** CONSIDÉRATIONS CROISÉES:
 - (i) PRODUITS CHIMIQUES DE L'ANNEXE C: MÉCANISMES DE FORMATION
 - (ii) CONSIDÉRATIONS SUR LA GESTION DES DÉCHETS
 - (iii) EFFETS BÉNÉFIQUES ADDITIONNELS DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LES PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C
 - (iv) GESTION DES GAZ DE PROCÉDÉ ET D'AUTRES RÉSIDUS
 - (v) FORMATION DES DÉCIDEURS ET DU PERSONNEL TECHNIQUE
 - (vi) MESURES, SUIVI ET PRÉSENTATIONS DES RAPPORTS

SECTION IV: COMPILATION DES RÉSUMÉS DES CATÉGORIES DES SOURCES INCLUSES DANS LES SECTIONS V ET VI

RESUMES DE LA SECTION V: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

RESUMES DE LA SECTION VI: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

SECTION V: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DE SOURCES: CATEGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

- V.A** LES INCINÉRATEURS DE DÉCHETS
- (i) DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, DÉCHETS DANGEREUX ET DE BOUES D'ÉPURATION
 - (ii) DECHET MEDICAUX
- V.B** LE BRULAGE DE DÉCHETS DANGEREUX DANS LES FOURS A CIMENT
- V.C** LA PRODUCTION DE PÂTE À PAPIER UTILISANT LE CHLORE ÉLÉMENTAIRE, OU DES SUBSTANCES CHIMIQUES GÉNÉRANT DU CHLORE ÉLÉMENTAIRE
- V.D** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
- (i) PRODUCTION DU CUIVRE SECONDAIRE
 - (ii) USINES DE FRITTAGE DANS L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER
 - (iii) PRODUCTION D'ALUMINIUM SECONDAIRE
 - (iv) PRODUCTION DU ZINC SECONDAIRE

SECTION VI: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DES SOURCES: CATÉGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

- VI.A** LA COMBUSTION À CIEL OUVERT DE DÉCHETS, Y COMPRIS DANS LES DÉCHARGES
- VI.B** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE AUTRES QUE CEUX MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE C PARTIE II
- (i) PRODUCTION DU PLOMB SECONDAIRE
 - (ii) PRODUCTION D'ALUMINIUM PRIMAIRE
 - (iii) PRODUCTION DE MAGNESIUM
 - (iv) PRODUCTION D'ACIER SECONDAIRE
 - (v) PREMIERE FUSION DES METAUX DE BASE

VI.C	LES SOURCES DE COMBUSTION RÉSIDENTIELLES
VI.D	LA COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES DANS DES CHAUDIÈRES DE CENTRALES ET LES CHAUDIÈRES INDUSTRIELLES
VI.E	LES INSTALLATIONS DE BRÛLAGE DE BOIS ET DE COMBUSTIBLES ISSUS DE LA BIOMASSE
VI.F	LES PROCÉDÉS SPÉCIFIQUES DE PRODUCTION DE SUBSTANCES CHIMIQUES ENTRAÎNANT DES REJETS DE SUBSTANCES INSCRITES À L'ANNEXE C
VI.G	LES FOURS CRÉMATOIRES
VI.H	LES VÉHICULES À MOTEUR, NOTAMMENT CEUX UTILISANT DE L'ESSENCE AU PLOMB
VI.I	LA DESTRUCTION DE CARCASSES D'ANIMAUX
VI.J	LA TEINTURE DE TEXTILES OU DU CUIR (AU CHLORANILE) ET LA FINITION (EXTRACTION ALCALINE)
VI.K	LES INSTALLATIONS DE BROUAGE DES ÉPAVES DE VÉHICULES
VI.L	LE CHAUFFAGE LENT DE CÂBLES EN CUIVRE
VI.M	LES RAFFINERIES D'HUILES USÉES

T A B L E D E S M A T I È R E S

V.A	Incinérateurs de déchets	9
(i)	Déchets solides municipaux, déchets dangereux et de boues d'épuration	9
1.	Introduction	10
2.	Description de procédé.....	11
2.1	Incinération de déchets solides municipaux.....	12
2.2	Incinération de déchets dangereux.....	15
2.3	Incinération de boues d'épuration.....	17
3.	Sources de formation des produits chimiques inscrits à l'Annexe C	20
4.	Alternatives à l'incinération de déchets solides municipaux, de déchets dangereux et de boues d'épuration	23
5.	Meilleures pratiques environnementales pour l'incinération des déchets.....	25
5.1	Les pratiques de la gestion des déchets.....	25
5.2	Les pratiques pour l'opération et la gestion d'incinérateurs.....	29
6.	Meilleures techniques disponibles pour l'incinération.....	32
6.1	Sélection de sites	33
6.2	Meilleures techniques disponibles pour les déchets, à l'arrivée et pour leur contrôle	33
6.3	Meilleures techniques disponibles pour la combustion	34
6.4	Meilleures techniques disponibles pour le traitement des gaz de combustion.....	36
6.5	Techniques de gestion pour les résidus solides.....	39
6.6	Meilleures techniques disponibles pour le traitement des effluents	41
6.7	Impact des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales sur d'autres polluants	41
6.8	Incinérateurs neufs ou modifiés de manière significative	42
6.9	Modification d'incinérateurs de déchets existants.....	43
7.	Niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles	44
	Références	44
(ii)	Déchets médicaux	47
1.	Introduction	48
2.	Les catégories de déchets de soins de santé	48
2.1	Déchets de soins de santé infectieux.....	49
2.2	Déchets de soins de santé biologiques	49
2.3	Objets pointus.....	49
3.	Techniques alternatives pour des sources neuves et existantes	49
3.1	Sources neuves	49
3.2	Sources existantes	50
3.3	Techniques alternatives	50

4.	Meilleures techniques disponibles pour la gestion des déchets de soins de santé ..56
4.1	Réduction des sources.....57
4.2	Ségrégation57
4.3	Récupération et recyclage des ressources58
4.4	Formation du personnel58
4.5	Ramassage à l'endroit de la génération des déchets58
4.6	Transport au site de stockage intermédiaire59
5.	Techniques appliquées pour l'incinération des déchets de soins de santé59
5.1	Description de procédé59
5.2	Techniques de traitement thermique.....61
5.3	Lavage des gaz de combustion64
5.4	Traitement des cendres volantes et résiduelles; traitement des eaux usées...64
6.	Meilleures techniques disponibles, et résumé des meilleures pratiques environnementales64
7.	Niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles74
	Références74
	Autres sources74

Tableaux: Section (i)

Tableau 1.	Résidus et déchets provenant de l'incinération de déchets solides municipaux.....21
Tableau 2.	Gammes de concentration des composés organiques dans les cendres d'installations modernes22
Tableau 3.	Estimation des rejets de PCDD/PCDF vers différents milieux à partir d'incinérateurs de déchets municipaux23
Tableau 4.	Exemples d'inspections techniques27
Tableau 5.	Exemples de ségrégations techniques28

Tableaux: Section (ii)

Tableau 1.	Conseils généraux.....66
Tableau 2.	Incinération de déchets de soins de santé: Techniques de combustion représentant les meilleures techniques disponibles.....67
Tableau 3.	Incinération de déchets de soins de santé: Mesures générales68
Tableau 4.	Incinération de déchets de soins de santé: Mesures organisationnelles ...69
Tableau 5.	Mesures primaires et optimisation des procédés pour la réduction des émissions de PCDD/PCDF70
Tableau 6.	Mesures secondaires.....71

Figures: Section (i)

Figure 1.	Schéma simplifié des flux dans un incinérateur12
Figure 2.	Incinérateur typique pour déchets solides municipaux14
Figure 3.	Schéma d'un système d'incinérateur à four rotatif.....16
Figure 4.	Exemple d'un incinérateur de boues d'épuration à foyers multiples.....19

Figures: Section (ii)

Figure 1.	Ségrégation et options de traitement pour les déchets médicaux55
Figure 2.	Diagramme schématique simplifié d'un incinérateur61

(i) Déchets solides municipaux, déchets dangereux et boues d'épuration

■ Résumé

Les incinérateurs de déchets sont identifiés dans la Convention de Stockholm comme ayant un potentiel relativement élevé pour la formation et le rejet vers l'environnement de substances inscrites à l'Annexe C.

Les objectifs possibles de l'incinération de déchets comprennent la réduction des volumes, la récupération d'énergie, la destruction (ou au moins la minimisation des composants dangereux), la désinfection et la récupération de certains résidus.

Lorsque l'on envisage de construire de nouveaux incinérateurs de déchets, la première considération sera d'étudier des alternatives telles que des activités visant à minimiser la génération de déchets, c'est-à-dire, la récupération de ressources, la réutilisation, le recyclage, la séparation des déchets et la promotion de produits qui génèrent moins de déchets. Une priorité devrait être aussi l'adoption d'approches qui évitent la formation et rejets de polluants organiques persistants.

Une conception et une opération rationnelles sur le plan de l'environnement des incinérateurs de déchets nécessitent l'application, à la fois de meilleures techniques disponibles et de meilleures pratiques environnementales (qui se chevauchent dans une certaine mesure) afin de prévenir ou minimiser la formation et le rejet de substances inscrites à l'Annexe C.

Parmi les meilleures pratiques environnementales pour l'incinération des déchets, on trouve des procédures applicables hors du site (telles que la gestion globale des déchets, et une considération de l'impact sur l'environnement du site), et des procédures à appliquer sur le site (par exemple l'inspection des déchets, la manipulation correcte des déchets, l'opération de l'incinérateur et les pratiques de gestion y associées, et le traitement des résidus).

Parmi les meilleures techniques disponibles, on peut citer la sélection d'un site approprié, la nature et le contrôle des déchets, et les techniques pour la combustion et pour le traitement des gaz, des résidus solides et des effluents.

Pour obtenir les meilleurs résultats pour la protection de l'environnement dans son ensemble, il est essentiel de coordonner le processus d'incinération avec les activités en amont (par ex., techniques de gestion des déchets) et aussi les activités en aval (par ex., l'élimination des résidus solides résultant de l'incinération des déchets).

Les rejets de substances inscrites à l'Annexe C des incinérateurs pour déchets solides, conçus et opérés en conformité avec les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales, se produiront surtout par les cendres volantes, les cendres résiduelles et les gâteaux de filtration provenant du traitement des eaux

usées. Il est donc très important de prévoir un lieu de stockage sûr pour ces types de déchets, par exemple par un prétraitement suivi d'une élimination dans des décharges spéciales, conçues et opérées selon les meilleures techniques disponibles.

En utilisant une combinaison appropriée de mesures primaires et secondaires, des niveaux de performance pour les rejets des PCDD/PCDF dans l'air plus faibles que 0,1 ng I-TEQ/Nm³ (à 11% O₂) sont associés aux meilleures techniques disponibles. On peut noter en plus que dans des conditions normales d'opération, on peut atteindre des valeurs d'émission plus faibles dans une unité d'incinération de déchets bien conçue.

Les meilleures techniques disponibles pour les rejets d'eaux usées provenant de stations d'épuration des gaz, sont associées à des niveaux de concentration, pour les PCDD/PCDF, bien inférieurs à 0,1 ng I-TEQ/l.

1. Introduction

Les incinérateurs de déchets sont identifiés par la Convention de Stockholm comme ayant un potentiel relativement élevé pour la formation et le rejet dans l'environnement de produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention. La co-incinération de déchets peut aussi être considérée comme une source de substances inscrites à l'Annexe C.

Cette section ne considère que les incinérateurs qui sont utilisés pour le brûlage de déchets, à l'exclusion de situations où les déchets sont traités thermiquement, par exemple dans des procédés de co-incinération, tels que les fours à ciment ou de grandes installations de combustion; ces cas sont traités dans les sections consacrées à ces technologies.

Lorsque l'on étudie des projets de construction de nouvelles usines de traitement de déchets, la Convention de Stockholm conseille aux Parties de considérer en tout premier lieu:

- Des alternatives telles que des activités diminuant la génération de déchets municipaux, comprenant la récupération, la réutilisation, le recyclage, le tri des déchets et la promotion de produits qui génèrent moins de déchets, lorsque l'on considère des propositions pour la construction de nouvelles installations d'élimination de déchets (Convention de Stockholm, Annexe C, partie V, section A, sous paragraphe (f)), et:
- Des méthodes qui éviteront la formation et le rejet des substances chimiques inscrites à l'Annexe C

Des considérations sur la gestion de déchets, décrites dans la section III.C (ii) des présentes directives, de même que les approches alternatives de la sous-section 6 ci-dessous, peuvent être prises en compte, faisant partie des stratégies globales de la prévention et du contrôle des déchets.

2. Description de procédé

L'incinération est utilisée pour le traitement de nombreux différents types de déchets. L'incinération elle-même n'est normalement qu'une partie d'un système complexe de traitement de déchets, qui répond aux besoins de la gestion globale d'une vaste gamme de déchets que produit la société (pour une considération des questions croisées relatives à l'incinération et à la gestion de déchets, voir section III.C du présent document).

Le but de l'incinération des déchets est de les traiter pour réduire leur volume, et aussi les risques qu'ils peuvent représenter, tout en captant (et donc en concentrant) ou en détruisant des substances potentiellement dangereuses qui sont, ou qui pourraient être, rejetées pendant l'incinération. Les procédés d'incinération peuvent aussi être un moyen permettant la récupération du contenu énergétique, minérale ou chimique du déchet.

Les incinérateurs se présentent dans une gamme de fours de types et de dimensions différents, ainsi que des combinaisons de traitement de pré- et de post- combustion. Il y a aussi un chevauchement important entre les conceptions des incinérateurs de déchets solides municipaux, de déchets dangereux et de boues de stations d'épuration.

Les incinérateurs sont généralement conçus pour assurer une combustion oxydante complète, dans une gamme de températures entre 850° à 1'400° C. Celle-ci peut couvrir les températures auxquelles peuvent se produire la calcination et la fusion. La gazéification et la pyrolyse peuvent représenter des traitements thermiques alternatifs, qui limitent la quantité d'air de combustion primaire pour convertir les déchets en gaz de procédés; ces derniers peuvent être utilisés en tant que matières premières chimiques, ou être incinérés avec récupération d'énergie. Comparé à l'incinération cependant, il n'y a que peu d'applications de ces systèmes, et dans certaines installations des difficultés opérationnelles ont été rencontrées.

On peut caractériser des installations d'incinération de déchets par les étapes suivantes: arrivée du déchet, stockage, prétraitement, récupération incinération/énergie, lavage des gaz de combustion, gestion des résidus solides, et traitement des eaux usées. La nature des déchets à l'arrivée aura une grande importance lors de la conception de chaque composant de l'incinérateur, et pendant leur opération.

Le déchet est un matériau très hétérogène, étant essentiellement composé de matières organiques, de matières minérales, de métaux et d'eau. Pendant l'incinération, des gaz de combustion sont produits, et contiendront la plus grande partie de l'énergie du combustible disponible, comme chaleur.

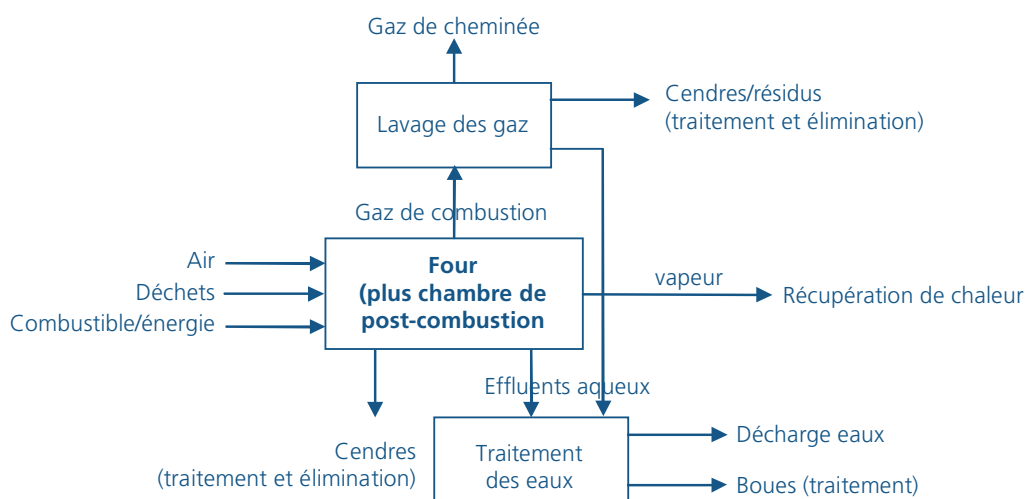
Dans une incinération avec oxydation complète, les principaux composants du gaz de combustion seront la vapeur d'eau, l'azote, le dioxyde de carbone et l'oxygène. Suivant la nature de la matière incinérée, les conditions opératoires, et le système de lavage des gaz installé, il y aura des émissions de gaz acides (oxydes de soufre, oxydes d'azote, acide chlorhydrique), de poussières (y inclus des métaux attachés aux particules), et d'une large gamme de composés organiques volatiles ainsi que de métaux volatiles (tel que le mercure). On a aussi pu constater que l'incinération de déchets solides municipaux, et de déchets dangereux, pouvait mener à la formation et au rejet non-intentionnel de polluants organiques persistants (PCDD/PCDF, PCB, HCB). En plus, cette

incinération peut mener à la formation et au rejet de dibenzo-*p*-dioxines polybromés (PBDD) et de dibenzofuranes polybromés (PBDF). Cette formation est notablement plus importante dans des unités qui sont mal conçues ou fonctionnent mal.

En fonction des températures de combustion pendant les étapes principales de l'incinération, les métaux et produits inorganiques (par exemple des sels) se vaporisent totalement ou partiellement. Ces substances sont transférées du déchet de départ, aux gaz de combustion et aux cendres volantes y contenues. Il se forme donc une cendre volante minérale résiduelle (poussière) et une cendre plus lourde (*bottom ash* en anglais). Les proportions de résidus solides varient beaucoup en fonction du type de déchet, et du profil détaillé du procédé.

Les autres rejets sont les résidus du traitement et du polissage des gaz de combustion, les gâteaux de filtration venant des traitements des effluents aqueux, et les sels et diverses matières rejetés dans les eaux usées.

■ **Figure 1: Schéma simplifié des flux dans un incinérateur**



2.1 Incinération de déchets solides municipaux

Bien que dans beaucoup de régions la mise en décharge de déchets non-recyclés représente le moyen principal pour l'élimination de déchets solides municipaux, la pratique d'incinération, suivie de mise en décharge des résidus, est devenue courante dans plusieurs pays développés et industrialisés. (Pour des considérations sur l'hierarchie et le recyclage des déchets, voir la section III.C (ii)).

La Directive du Conseil d'Europe sur la mise en décharge des déchets (1999/31/EC) exigent que les Etats membres établissent une stratégie nationale pour la mise en place d'un système de réduction des déchets biodégradables envoyés en décharge. Cette stratégie devrait inclure des mesures pour atteindre les objectifs en considérant surtout: le recyclage, le compostage, la production de biogaz et la récupération de matériaux ou d'énergie.

L'incinération de déchets solides municipaux est souvent accompagnée de la récupération d'énergie (déchets énergie) sous forme de vapeur, ou par la génération d'électricité. Les incinérateurs peuvent aussi être conçus pour accueillir des déchets déjà

traités, comme par exemple des combustibles dérivés des déchets, et peuvent également fonctionner en co-incinération avec des combustibles fossiles. Les incinérateurs de déchets municipaux peuvent varier en taille, allant de petites unités autonomes, capables de traiter des petits lots en discontinu à la cadence de quelques tonnes par jour, à de grosses unités ayant des capacités journalières de plusieurs milliers de tonnes en continu. L'investissement financier de telles unités peut varier de quelques dizaines de milliers à plusieurs centaines de millions de dollars US.

Les avantages principaux de l'incinération de déchets municipaux sont la destruction des matières organiques (y compris celles qui sont toxiques) et la réduction du volume des déchets et de la concentration des polluants (par exemple les métaux lourds) dans des quantités relativement petites de cendres, facilitant ainsi leur élimination sans risque. L'énergie récupérée peut représenter un bénéfice additionnel non négligeable.

Les incinérateurs de déchets municipaux sont des installations industrielles importantes, ayant la possibilité d'être des sources de pollution environnementale significatives. (Voir Section 2).

2.1.1 Considérations opérationnelles pour les incinérateurs de déchets solides municipaux

Dans beaucoup d'incinérateurs de déchets solides municipaux, d'autres types de déchets comme des déchets à grand volume (par exemple, provenant de centres de tri), des boues de station d'épuration ou des fractions hautement calorifiques provenant du prétraitement de déchets (par exemple, d'installations de déchiquetage) sont aussi incinérées. Il faut que de tels déchets soient bien évalués avant incinération, pour s'assurer que l'unité d'incinération de déchets (y compris le traitement des gaz de combustion, et les traitements des eaux usées et des résidus) soit bien conçue pour traiter ces types de déchet, et que ceci peut se faire sans risque pour la santé de la population et de l'environnement. Quelques paramètres importants sont les teneurs en chlore et en brome, en aluminium et en métaux lourds, ainsi que le contenu calorifique et le comportement pendant le brûlage. Des concentrations élevées en brome peuvent résulter en la formation de composés bromés tels que les dibenzo-*p*-dioxines polybromés (PBDD) et les dibenzofuranes polybromés (PBDF). En négligeant les limites de l'unité d'incinération on pourrait tomber sur des problèmes opérationnels (par exemple, la nécessité de fermetures répétées permettant le nettoyage de la grille ou des échangeurs), ou à une mauvaise performance environnementale (par exemple, émissions élevées dans l'eau, lixiviation élevée des cendres volantes).

La Figure 2 indique la disposition typique d'un grand incinérateur pour déchets solides municipaux.

2.1.2 Livraison, stockage et prétraitement de déchets solides municipaux

Les déchets peuvent être livrés aux incinérateurs par camion ou par rail. Le recyclage ou les programmes de tri à la source peuvent beaucoup influencer l'efficacité du procédé. En séparant le verre et les métaux avant incinération, on augmentera la valeur énergétique des déchets. Cependant, dans certaines usines les métaux sont retirés des

endres résiduelles après incinération. Le recyclage du papier, du carton, et des plastiques, réduira la valeur énergétique des déchets mais pourrait réduire aussi le chlore disponible. En séparant les gros morceaux de déchets à la source, on réduira la nécessité de les enlever ou de les déchiqueter sur le site.

En plus de la séparation des déchets, on peut effectuer un prétraitement de l'ensemble des déchets solides municipaux à incinérer, par un broyage ou un déchiquetage, facilitant la manipulation et augmentant l'homogénéité. Les zones de stockage en silos sont normalement couvertes afin d'éviter une augmentation de l'humidité, et sont typiquement conçues pour faire passer l'air de combustion à travers le silo pour réduire les mauvaises odeurs.

■ Figure 2. Incinérateur typique pour déchets solides municipaux



Source: European Commission 2006.

2.1.3 Conception des incinérateurs de déchets solides municipaux

Les déchets municipaux solides peuvent être incinérés dans plusieurs types de systèmes de combustion: fours à grille mobile, fours tournants et lits fluidisés. Aux Etats Unis et en Asie, des incinérateurs modulaires qui brûlent les déchets sans prétraitement sont également utilisés. Dans le cas de la technologie à lit fluidisé, il faut que les déchets solides municipaux aient des particules d'une certaine dimension – ceci nécessite un certain degré de prétraitement et une collecte sélective des déchets. Les capacités de combustion des incinérateurs de déchets solides municipaux vont typiquement de 90 à 2'700 tonnes de déchets solides par jour (les configurations modulaires: de 4 à 270 tonnes par jour).

D'autres procédés ont été développés, basés sur un découplage des étapes qui ont lieu également dans l'incinérateur: séchage, volatilisation, pyrolyse, carbonisation et oxydation du déchet. On applique aussi une gazéification à l'aide d'agents de gazéification tels que la vapeur, l'air, et les oxydes de carbone ou l'oxygène. Ces procédés visent à réduire les volumes des gaz de combustion et les coûts associés de traitement des gaz. Plusieurs de ces développements ont rencontré des problèmes techniques et économiques lors du passage à une plus grande échelle industrielle et commerciale, et ont donc été abandonnés. Certains sont utilisés sur une base commerciale (par exemple au Japon); d'autres sont en cours d'essais dans des

installations de démonstration en Europe, mais n'ont qu'une petite partie du marché global pour le traitement de déchets, par rapport à l'incinération.

2.2 Incinération de déchets dangereux

L'incinération et d'autres formes de traitements thermiques représentent aussi des options pour le traitement de déchets dangereux. Les déchets toxiques se distinguent des autres déchets par le fait qu'ils sont inscrits dans les lois et réglementations sur les déchets, ou bien qu'ils ont des propriétés toxiques. Aux Etats-Unis, par exemple, un déchet peut être considéré comme étant dangereux si l'on peut démontrer qu'il est inflammable, corrosif, réactif ou toxique. Des mélanges de déchets dangereux avec d'autres déchets peuvent aussi être considérés comme étant dangereux.

A cause du risque inhérent plus élevé pour le traitement de tels déchets, et l'incertitude relatif à leur composition, il est nécessaire de disposer de procédures spéciales pour le transport, la manipulation, le stockage, le suivi et le contrôle. Il faudrait peut-être aussi une manipulation particulière de tout résidu résultant du traitement des déchets.

La technologie de combustion la plus courante pour l'incinération de déchets toxiques est le four rotatif. Les installations disponibles dans le domaine de l'incinération commerciale ont des capacités allant de 82 à 270 t/j (European Commission 2006). Certains déchets dangereux, en particulier les solvants usagés, sont aussi incinérés comme combustible dans des fours à ciment. Cette application est considérée dans la section V.B du présent document d'orientation. De la même manière que l'incinération de déchets solides municipaux, l'incinération de déchets dangereux présente des avantages pour la destruction de matières organiques (y compris les matériaux toxiques), de la réduction des volumes et des concentrations des polluants dans des quantités relativement petites de cendres, et, mais moins souvent, l'avantage de pouvoir récupérer de l'énergie.

Les incinérateurs de matériaux dangereux représentent un potentiel pour devenir des sources significatives de pollution environnementale (voir section 2).

Les déchets dangereux sont normalement incinérés dans deux types d'installations:

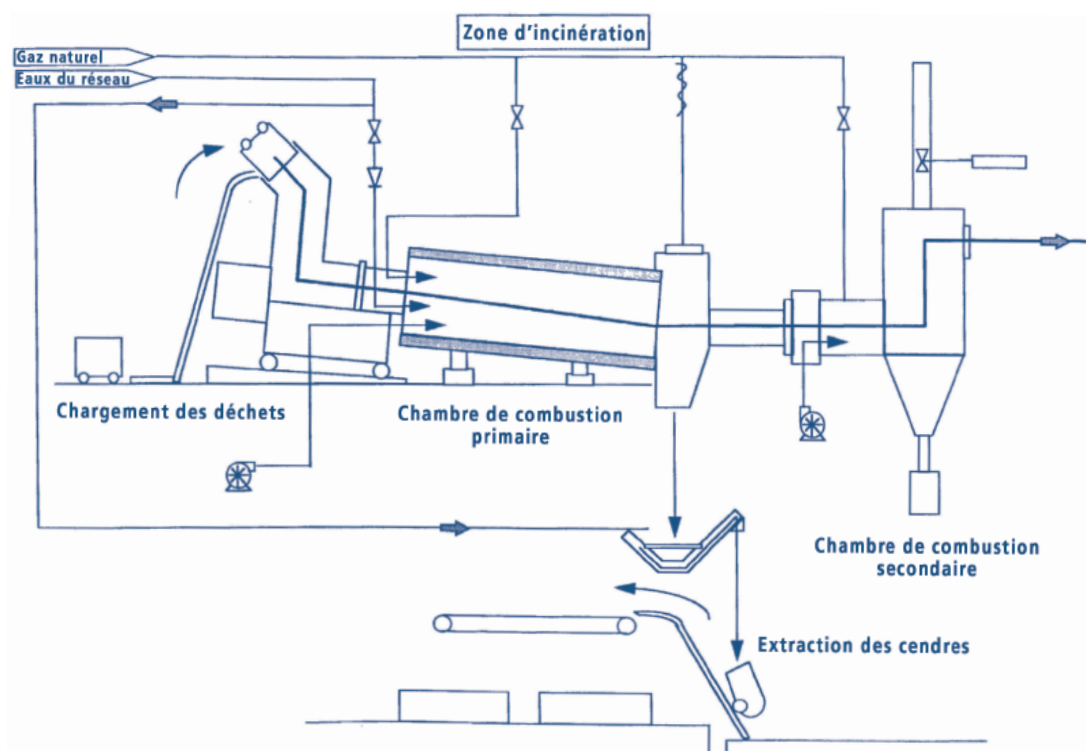
- Des installations commerciales qui proposent un service payant pour le traitement des déchets, hors site. Ces incinérateurs peuvent traiter une variété de types de déchets, et peuvent concourir à l'échelle internationale pour le traitement de déchets¹;
- Des incinérateurs de déchets dangereux qui sont dédiés à cette tâche, et qui sont typiquement rattachés à de grandes installations industrielles, par exemple un incinérateur dans un complexe de fabrication chimique traitant des déchets chlorés pour en récupérer l'acide chlorhydrique (HCl).

Les résidus provenant des incinérateurs de déchets dangereux sont similaires à ceux des incinérateurs de déchets solides municipaux à l'exception des scories produites par les incinérateurs à four rotatif.

2.2.1 Conception et mode opératoire d'incinérateurs de déchets dangereux

Pour l'incinération de déchets dangereux, on utilise le plus souvent des fours rotatifs (Figure 3), mais les incinérateurs à grille (y compris la co-incinération avec d'autres déchets) sont souvent utilisés pour les déchets solides, et des incinérateurs à lit fluidisé pour certains déchets prétraités. Les fours statiques sont aussi très utilisés dans des installations faisant partie de complexes chimiques.

■ Figure 3. Schéma d'un système d'incinération à four rotatif



A cause de la composition dangereuse et parfois incertaine des déchets qui arrivent, il faut prendre plus de précautions au sujet des critères d'acceptation, du stockage, de la manipulation et du prétraitement, que dans le cas de déchets solides municipaux. Pour des déchets à faible pouvoir calorifique il est parfois nécessaire d'ajouter un appoint de combustible.

Dans un four rotatif, des solides, des boues et des déchets pompables, ou en fûts, sont introduits du côté supérieur du four incliné. Les températures dans le four varient en générale entre 850°C (500°C quand utilisé en tant que gazéificateur) et 1'450°C (comme un four de fusion de cendres à haute température). La rotation lente du tambour permet un temps de résidence de 30 à 90 minutes. On peut considérer que des températures de 850°-1'000°C sont suffisantes pour la destruction de déchets non halogénées, tandis que de 1'000° à 1'200°C sont suffisantes pour détruire des composés halogénés, c'est-à-dire, des PCDD/PCDF, PCB et HCB.

La chambre de combustion secondaire, après le four, permet l'oxydation des gaz de combustion. Il est possible d'injecter ici des déchets liquides ou du combustible en même temps que l'air secondaire, pour maintenir un temps de résidence de minimal de 2

secondes, et des températures dans une gamme de 850°C-1'000°C, détruisant ainsi la plupart des composés organiques résiduels (les exigences pour les conditions de combustion sont décrites dans la Directive EU 2000/76/EC sur l'Incinération des Déchets).

Des déchets dangereux sont aussi incinérés dans des fours à ciment. Cette application est décrite dans la section V.B du présent document.

2.2.2 Livraison, stockage et prétraitement de déchets dangereux

Avant d'accepter un déchet dangereux en vue de son traitement, les opérateurs d'incinérateurs commerciaux doivent évaluer et caractériser le matériau. On demande de manière routinière une documentation de la part du producteur du déchet, comprenant l'origine du déchet, son numéro de code ou autre désignation, l'identité des personnes responsables et une indication de la présence éventuelle de tout composant particulièrement dangereux. Le déchet doit aussi être emballé de manière correcte pour éviter la possibilité qu'une réaction ait lieu pendant le transport.

Le stockage sur le site de l'incinérateur dépendra de la nature et des propriétés physiques du déchet. Les déchets solides dangereux sont normalement stockés dans des silos construits pour garantir l'absence de toute fuite dans un des milieux environnementaux, et fermés pour permettre l'extraction de l'air du silo, vers le procédé de combustion. Les déchets liquides sont stockés dans des réservoirs, souvent sous une atmosphère de gaz inerte (par exemple de l'azote), et sont transportés vers l'incinérateur par des canalisations. On peut introduire quelques déchets directement dans l'incinérateur dans les conteneurs utilisés pour leur transport. Les pompes, tuyauteries et autres équipements qui pourraient entrer en contact avec les déchets devront être résistants à la corrosion, et accessibles pour les besoins de nettoyage et d'échantillonnage.

Les opérations de prétraitement peuvent comprendre la neutralisation, l'égouttage ou la solidification du déchet. On peut aussi utiliser des déchiqueteurs et mélangeurs mécaniques pour traiter les conteneurs, ou pour mélanger les déchets en vue d'une combustion plus efficace.

2.3 Incinération des boues d'épuration

Les boues des stations d'épuration domestiques sont éliminées de différentes manières qui peuvent comprendre l'épandage sur des terres agricoles, la mise en décharge de surface (par exemple, pour la création de paysages), l'incinération, et le mélange avec des déchets solides municipaux. L'incinération de ces boues est pratiquée dans nombre de pays, soit seule, soit en co-incinération avec les déchets solides municipaux, ou dans d'autres installations d'incinération (par exemple, des centrales au charbon, des fours à ciment). L'élimination effective des boues d'épuration par ce procédé dépend d'un certain nombre de facteurs, par exemple le fait que le déchet se trouve mélangé avec d'autres déchets industriels (qui peuvent augmenter la teneur en métaux lourds), la localisation (les sites au bord de la mer peuvent être sujets à des infiltrations d'eau salée), les prétraitements (ou absence de ceux-ci), et les conditions météorologiques (dilution dans l'eau de pluie). (European Commission 2006).

L'incinération des boues de stations d'épuration présente quelques différences par rapport à l'incinération de déchets solides municipaux et dangereux. Les variations dans les teneurs en humidité, les valeurs énergétiques, et la présence possible d'autres déchets, en mélange (par exemple, déchets industriels, si les systèmes d'égouts sont connectés) demandent des approches appropriées pour la manipulation et le prétraitement.

Le prétraitement, en particulier l'égouttage et le séchage, est spécialement important pour la préparation des boues avant incinération. Le séchage réduit le volume des boues et augmente l'énergie calorifique du produit. Il est normalement nécessaire de réduire l'humidité pour atteindre 35% de matières sèches, afin de pouvoir fournir l'énergie thermique nécessaire pour une incinération auto-entretenue. Des séchages complémentaires peuvent être nécessaires si l'on envisage une co-incinération avec des déchets solides municipaux.

Comme dans le cas des incinérateurs pour les déchets solides municipaux et déchets dangereux, les polluants et substances inscrits à l'Annexe C, ainsi que leurs précurseurs, peuvent être présents dans les déchets envoyés aux incinérateurs de boues d'épuration, et ont été responsables pour la formation et rejets de ces substances dans l'air, l'eau et les résidus/déchets (voir la Section 2). Les résidus solides provenant de l'incinération des boues de stations d'épuration sont surtout des cendres volantes et les cendres de foyer (dans le cas de l'incinération en lit fluidisé), ainsi que des résidus du traitement des gaz de combustion (voir la description de l'incinération de déchets solides municipaux).

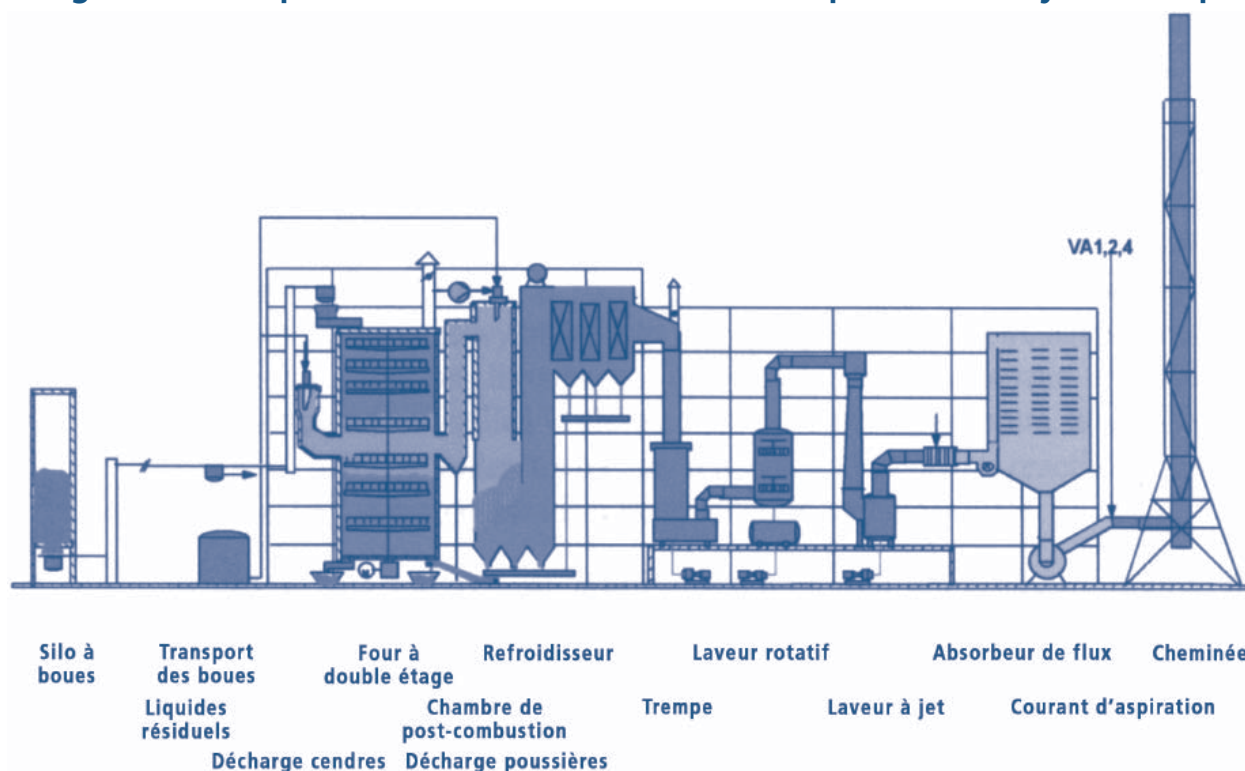
2.3.1 Conception et mode opératoire des incinérateurs de boues d'épuration

Un incinérateur typique pour boues d'épuration, peut traiter au moins 80'000 tonnes de boues par an (à 35% de matière sèche). Les meilleurs incinérateurs pour ces boues sont les fours à foyers multiples (Figure 4) et les fours à lit fluidisé, bien que les fours rotatifs soient aussi utilisés pour des applications à plus petite échelle.

En fonction du pourcentage de solides secs (siccité) on peut introduire un combustible d'appoint. Les températures préférées de fonctionnement vont de 850°C à 950°C, et avec un temps de résidence de 2 secondes, bien que certaines installations à lit fluidisé peuvent fonctionner à une température aussi basse que 820°C sans diminution de la performance. En opérant au dessus de 980°C on peut provoquer la fusion des cendres (European Commission 2006).

On peut incinérer les boues de stations d'épuration mélangées à des déchets solides municipaux dans des incinérateurs à lit fluidisé ou à grille (*mass burn* en anglais). Dans le second cas, un rapport 1:3 (boues: déchets) est typique, avec la boue séchée introduite dans la chambre d'incinération comme poussière ou boue drainée, envoyée à la grille par aspersion. Dans certains cas, il est possible de mélanger la boue essorée ou séchée avec des déchets solides municipaux dans la soute ou dans le silo avant de la charger dans l'incinérateur. Les méthodes d'alimentation de l'incinérateur représentent une fraction significative des investissements additionnels pour la co-incinération.

■ **Figure 4. Exemple d'un incinérateur de boues d'épuration à foyers multiples**



Source: European Commission 2006.

2.3.2 Prétraitement des boues d'épuration

Certains prétraitements des boues peuvent avoir lieu avant leur arrivée à la station d'incinération. Ceci peut inclure un tamisage, un traitement anaérobie ou aérobie, et l'addition d'agents chimiques de traitement.

Un égouttage mécanique réduit le volume de la boue et augmente sa valeur calorifique. Les procédés utilisés sont: la décantation, la centrifugation, les filtres à bande, et les chambres à filtre presse. Des agents de conditionnement (par ex. des agents flocculants) sont souvent ajoutés avant l'extraction de l'eau pour en faciliter l'égouttage qui suit. En retirant l'eau par voie mécanique on peut normalement atteindre un taux de matières sèches de 20 à 35% (European Commission 2006).

Le séchage fait appel à de la chaleur pour réduire la teneur en eau encore plus, et pour conditionner les boues. La chaleur nécessaire à la station d'incinération est souvent fournie par le procédé même d'incinération. Les procédés de séchage peuvent être directs (les boues sont en contact avec les convoyeurs thermiques) ou indirects (par ex. la chaleur est fournie par vapeur). Dans le cas du séchage direct, la vapeur et les gaz doivent ensuite être lavés.

L'incinération auto thermique (qui fonctionne en autonomie) exige 35% de solides secs. Bien que l'égouttage mécanique puisse atteindre ce seuil, le séchage complémentaire de la boue, pour atteindre 80-95% de matière sèche, peut être réalisé pour augmenter sa valeur calorifique. La co-incinération avec des déchets solides municipaux exige généralement un séchage complémentaire des boues.

3. Sources de formation des produits chimiques inscrits à l'Annexe C

Pour des informations sur les mécanismes de formation des substances inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm se référer à la section III.C (i) du présent document d'orientation.

Les produits chimiques de l'Annexe C sont rejetés vers l'air, dans l'eau (lorsque des systèmes humides de lavage des gaz sont installés, ou quand les résidus sont lavés à l'aide de liquides pour enlever certaines substances toxiques) et dans les résidus solides.

Les résidus solides venant des incinérateurs de déchets solides municipaux sont pour la plupart des cendres lourdes (résiduelles), des cendres de chaudières et des cendres volantes. Les résidus solides des incinérateurs de déchets toxiques sont similaires à ceux des incinérateurs de déchets solides municipaux, à l'exception des scories venant de l'incinération au four tournant. Les résidus venant de l'incinération des boues de stations d'épuration sont essentiellement des cendres volantes et des cendres de foyer (dans les cas d'incinération en lit fluidisé), ainsi que des résidus du traitement des gaz de combustion (voir la description de l'incinération des déchets solides municipaux).

En plus, des résidus viennent des systèmes d'épuration des gaz de cheminée ont des caractéristiques différentes selon le système utilisé (sec, semi-humide, humide). Quand on utilise des systèmes humides, il y aura une accumulation de gâteaux de filtration et de gypse. En plus, il faut prendre en compte des résidus provenant des systèmes de polissage de l'air.

Les options pour les résidus du polissage de l'air dépendront de l'adsorbant utilisé (charbon actif, coke, chaux, bicarbonate de soude, zéolites). Il est parfois permis d'incinérer le résidu du charbon (actif) venant des réacteurs à lit fixe dans l'incinérateur de déchets lui-même, si certaines conditions du procédé sont respectées. On peut aussi incinérer le résidu provenant de systèmes à lit mobile lorsque l'adsorbant utilisé est uniquement du charbon actif ou des cokes de four. Si on utilise un mélange d'autres réactifs avec le charbon actif, on envoie généralement le résidu vers un traitement ou une élimination à l'extérieur, car il pourrait exister des risques de corrosion.

Dans plusieurs pays, les fractions de déchets générées par des unités d'incinération de déchets sont classées comme déchets dangereux, à l'exception du gypse venant de la désulfuration des gaz de cheminée, et de la ferraille ferreuse et non-ferreuse. Comme exemple, on peut citer la réglementation autrichienne qui exige que dans le cas où la limite pour les PCDD/PCDF (100 ng I-TEQ/kg) dans les déchets est dépassée, les déchets doivent alors être éliminés d'une manière écologiquement rationnelle. Ceci veut dire que dans la plupart des cas il faut faire appel à des décharges spécialement conçues (après un prétraitement) ou à un stockage souterrain. De plus, selon la loi autrichienne, il faut éviter la formation et la propagation de poussières provenant de ces déchets pendant leur transport et stockage intermédiaire (Austrian Waste Incineration Ordinance, Fed. Law Gazette Nr. II 389/2002).

Le Tableau 1 illustre les masses relatives de résidus solides, pour un incinérateur typique de déchets municipaux solides.

■ Tableau 1. Résidus et déchets provenant de l'incinération de déchets solides municipaux

Types de déchets	Masse spécifique, sèche (kg/t de déchets)
Scories/cendres (y compris résidus sur les grilles, et en dessous)	200–350
Poussières des chaudières et du dépoussiérage	20–40
Résidus du lavage des gaz de cheminée sans poussières des filtres:	
Sorption humide ^a	8–15
Sorption semi-humide	15–35
Sorption sèche	7–45
Résidus de lavage des gaz de cheminée avec poussières des filtres:	
Sorption humide ^a	30–50
Sorption semi-humide	40–65
Sorption sèche	32–80
Charbon actif chargé	0,5–1

a. Les résidus de la sorption sèche ont une sécheresse spécifique (par exemple: 40–50% solides secs) (74, TWG Comments, 2004).

Source: Umweltbundesamt Deutschland 2001.

Les concentrations typiques de composés organiques dans les cendres générées dans des installations modernes d'incinération de déchets sont données au Tableau 2.

■ **Tableau 2. Gammes de concentration des composés organiques dans les cendres d'installations modernes**

Paramètre	Cendre résiduelle (ng/kg)	Cendre de chaudière (ng/kg)	Cendre volante (ng/kg)
PCDD/F (I-TEQ)	<1–10	20–500	200–10'000
PCB	<0,005–0,05	0,004–0.05	10'000–250'000
PCBz ^a	<0,002–0,05	200'000–1'000'000	100'000–4'000'000
PCPh ^b	<0,002–0,05	20'000–500'000	50'000–10'000'000
PAH ^c	<0,005–0,01	10'000–300'000	50'000–2'000'000

a. PCBz: benzènes polychlorés.

b. PCPh: phénols polychlorés.

c. PAH: hydrocarbures polycycliques aromatiques.

Source: European Commission 2006.

Les émissions vers l'air des unités d'incinération de déchets dépendent dans une large mesure des conditions de combustion, et de la conception et le fonctionnement des systèmes de lavage des gaz. Les émissions de PCDD/PCDF venant des incinérateurs de déchets les plus modernes, utilisant les meilleures techniques disponibles, sont dans la fourchette de 0,0008–0,05 ng I-TEQ/Nm³; (voir Stubenvoll, Böhmer *et al.* 2002). Cependant les émissions peuvent être plus élevées que 150 ng I-TEQ/Nm³ dans le cas d'unités mal conçues et mal exploitées.

Il n'y a des émissions de PCDD/PCDF vers l'eau que lorsqu'on utilise des systèmes humides pour le traitement des gaz de combustion. Les unités modernes de traitement des eaux usées comprennent des étapes telles que la neutralisation, la précipitation, la floculation et l'utilisation de filtres de charbon actif pour éliminer des substances organiques. Les émissions de ces installations sont normalement dans la gamme de 0,01–0,3 ng I-TEQ/l (par exemple, dans la Directive sur l'Incinération des Déchets du Conseil de l'Europe, une valeur de limite d'émission (ELV) de 0,3 ng I-TEQ/l est prescrite).

Des concentrations typiques ont été rapportées pour des PCDD/PCDF dans le déchet lui-même; ces valeurs sont dans la gamme de 50–250 ng I-TEQ/kg pour des déchets solides municipaux, jusqu'à 10'000 ng/ I-TEQ kg pour les déchets toxiques et 8,5–73 ng/ I-TEQ kg pour des boues de stations d'épuration (European Commission 2006).

Le Tableau 3 donne une estimation des rejets de PCDD/PCDF (I-TEQ) vers différents milieux, basée sur des paramètres typiques pour des incinérateurs de déchets solides municipaux, conçus et exploités suivant les meilleures techniques disponibles (pour les paramètres, voir Stubenvoll, Böhmer *et al.* 2002 et European Commission 2006).

■ Tableau 3. Estimation des rejets de PCDD/PCDF vers différents milieux à partir d'incinérateurs de déchets municipaux

Milieu	Accumulation part de déchets traités	Unité	Concentration moyenne	Unité	Rejet spécifique (µg/t déchet)
Cendre résiduelle	220	kg	46	ng I-TEQ /kg	10,12
Cendre volante	20	kg	2'950	ng I-TEQ /kg	59
Gâteau de filtration	1	kg	4'000	ng I-TEQ/kg	4
Eaux usées	450	litre	0,3	ng I-TEQ /l	0,135
Air	5'000	Nm ³	0,02	ng I-TEQ/ Nm ³	0,1
Rejet total					73'355

Source: Stubenvoll, Böhmer et al. 2002 et European Commission 2006

D'après les données présentées au Tableau 3, il est évident que les dioxines et furanes sont rejetés surtout par l'incinération de déchets solides. Il faut éliminer les gâteaux (par exemple, par stockage souterrain) et les cendres volantes, dans des décharges dédiées dans la plupart des pays (parfois après un prétraitement), tandis que les cendres résiduelles sont utilisées dans certains pays pour la construction des routes, généralement après un prétraitement.

A condition que la teneur totale, et la vitesse de lixiviation, de polluants organiques persistants des cendres et d'autres déchets provenant de l'incinération de déchets soient faibles (ceci peut se faire, par exemple par un prétraitement), on peut considérer les décharges spéciales (si elles sont conçues et exploitées en respectant les meilleures techniques disponibles) comme des puits terminaux pour les substances dangereuses; les possibilités qu'il se produisent d'autres rejets, et donc d'autres expositions à ces produits chimiques, sont ainsi fortement réduites. Dans ces cas, les émissions des incinérateurs modernes de déchets deviennent très faibles.

4. Alternatives à l'incinération de déchets solides municipaux, de déchets dangereux et de boues d'épuration

Pour une vue d'ensemble de la gestion des déchets, voir la section III.C (ii) de ce guide.

En plus d'encourager les Parties à accorder une priorité aux techniques favorisant le recyclage et la récupération des déchets, et à minimiser la génération de ceux-ci, la Convention de Stockholm souligne l'importance d'étudier des options alternatives de traitement et d'élimination, qui éviteront la formation et le rejet des substances

chimiques inscrites à l'Annexe C. Une liste des exemples de telles alternatives, comprenant des technologies émergentes, est donnée ci-dessous.

Pour des déchets municipaux, les alternatives possibles à l'incinération sont:

- des stratégies de gestion «déchet zéro», qui visent à arrêter la génération de déchets par l'application d'une variété de mesures, y compris des outils législatifs et économiques;
- la minimisation des déchets, le tri à la source et le recyclage afin de réduire les volumes de déchets nécessitant une élimination finale;
- le compostage qui réduit le volume par une décomposition biologique;
- le traitement biologique mécanique, qui réduit le volume du déchet par des voies mécaniques et biologiques, et qui génère des résidus qui doivent encore être traités;
- la fusion à haute température, qui utilise des moyens thermiques pour réduire les volumes, et qui permet d'encapsuler les résidus nécessitant encore un traitement;
- des décharges sanitaires spéciales qui retiennent et isolent les déchets (y compris avec un système de captage et de brûlage du méthane formé, avec récupération de l'énergie ou au moins une torchère si cette dernière technique n'est pas disponible).

Pour les produits dangereux, les alternatives possibles à l'incinération comprennent:

- La minimisation des déchets, associée à un tri à la source, avec une élimination finale par d'autres techniques ou par mise en décharge;

Pour les déchets POP, des alternatives possibles à l'incinération sont données dans les Directives Techniques de Bâle (Basel Convention Technical Guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants (POPs); 2005)

- Réduction chimique en phase gazeuse;
- Décomposition par catalyse basique;
- Réduction par le sodium;
- Oxydation par eau supercritique.

Pour les boues d'épuration non contaminées, des alternatives possibles à l'incinération sont la mise en décharge ou l'épandage sur les terres agricoles, ce qui évite la formation des substances chimiques inscrites à l'Annexe C. Toutefois, on doit noter que les polluants organiques persistants présents dans de telles boues, peuvent être rejetés dans l'environnement par cette dernière méthode d'épandage. Pour l'épandage sur les terres, on fera idéalement une séparation des boues non contaminées.

Un travail complémentaire est nécessaire de la part la communauté internationale afin de tester et valider des technologies comme celles citées. Un travail serait également souhaitable pour promouvoir des innovations additionnelles dans ce domaine important.

5. Meilleures pratiques environnementales pour l'incinération des déchets

Des usines bien entretenues, des opérateurs bien formés, un public bien informé et une attention constante aux procédés mis en œuvre, sont des facteurs importants pour minimiser la formation et le rejet des substances chimiques inscrites à l'Annexe C résultant de l'incinération de déchets. De plus, des stratégies efficaces de gestion des déchets (par ex. la réduction des déchets, le tri en amont et le recyclage), en modifiant le volume et les propriétés des déchets, peuvent aussi avoir un impact significatif sur les rejets.

Il faut noter ici qu'à cause de définitions peu claires de ce qui constitue les meilleures pratiques environnementales, il y a un certain chevauchement entre les descriptions des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales. Quelques-unes des pratiques décrites dans cette sous-section, sur les meilleures pratiques environnementales, pourraient représenter aussi une nécessité préalable pour l'opération d'une installation utilisant les meilleures techniques disponibles.

Dans cette sous-section on décrit les meilleures pratiques environnementales pour le fonctionnement d'un incinérateur de déchets. Les pratiques appropriées, qui devront être appliquées avant que le déchet arrive à l'installation d'incinération, sont décrites ailleurs dans ce document (voir par exemple la section III.C sur des considérations croisées).

5.1 Les pratiques de la gestion des déchets

Des considérations sur la gestion des déchets qui sont décrites dans la III.C (ii) de ce guide, ainsi que les approches alternatives esquissées dans la sous-section 6 ci-dessous, devront être prises en considération comme faisant partie intégrale des stratégies d'ensemble de réduction et de contrôle des déchets.

5.1.1 Minimisation des déchets

En réduisant par n'importe quel moyen le volume total de déchets qui sont à éliminer, on peut réduire les rejets et les résidus des incinérateurs. L'envoi des produits biodégradables vers le compostage, et des initiatives pour réduire les emballages entrant dans le flux de déchets, peuvent avoir un effet important sur les volumes. La responsabilité pour une minimisation des déchets n'est pas vraiment l'affaire de l'opérateur de l'installation d'incinération. Cependant la coordination et l'harmonisation des activités pertinentes, à différents niveaux de l'organisation (c'est-à-dire: niveaux de l'opérateur, de la localité, de la région ou du pays) sont d'une importance primordiale pour l'environnement dans son ensemble.

5.1.2 Séparation à la source et recyclage

Le tri et la collecte de matériaux recyclables, à la source ou centralisés (par ex. l'aluminium et d'autres métaux, le verre, le papier, les plastiques recyclables, les déchets de construction ou de démolition) réduisent également les volumes et permettent aussi

d'enlever les matériaux non- combustibles. La responsabilité pour ces activités doit être coordonnée entre les différents niveaux concernés.

5.1.3 Inspection et caractérisation des déchets

Il est indispensable de disposer d'une excellente connaissance des caractéristiques et propriétés des déchets à l'arrivée. Les caractéristiques d'un lot de déchets particulier peuvent varier de manière significative d'un pays à un autre, et de région à région. Si l'on considère que certains déchets, ou composants, ne sont pas adaptés à une incinération, il faudrait mettre en place des procédures permettant la détection et la séparation de ces matériaux dans les lots à l'arrivée, ou dans les résidus. Des vérifications, des échantillonnages, et des analyses devront être effectués. Ceci est particulièrement vrai pour des déchets dangereux. Des enregistrements et des cahiers de mouvements sont indispensables, et ils devront être tenus à jour. Le Tableau 4 illustre quelques unes des techniques applicables aux différents types de déchets.

■ Tableau 4. Exemples d'inspections techniques

Type de déchet	Techniques	Commentaires
Déchets municipaux mixtes	Inspection visuelle dans les silos Vérification inopinée sur arrivages individuels par prélèvement séparé Pesage à l'arrivée du déchet Détection radioactive	Les livraisons industrielles et commerciales peuvent présenter des risques élevés
Déchets municipaux prétraités et combustibles dérivés de déchets	Inspection visuelle Echantillonnage périodique, et analyse des caractéristiques ou des substances clefs	
Déchets dangereux	Inspection visuelle Echantillonnage/analyse de tous camions transportant en vrac Vérification au hasard de livraison en fûts Déballage et vérification de livraisons emballées Evaluation des paramètres de combustion Tests de mélange sur déchets liquides avant stockage Contrôle des points éclairés pour les déchets dans le silo Triage des déchets à l'entrée pour composition élémentaire, par exemple par EDXRF ^a	Des procédures étendues et efficaces sont particulièrement importantes pour ce secteur. Les unités recevant des déchets homogènes pourraient adopter des procédures simplifiées
Boues d'épuration	Echantillonnage et analyse périodiques pour des propriétés et des substances clefs Vérification pour la présence de cailloux/métaux avant les étapes de séchage Contrôle du procédé pour adaptation aux variations dans les boues	

a. EDXRF: fluorescence rayons-X à énergie dispersive (spectromètre).

Source: European Commission 2006.

5.1.4 Séparation des non-combustibles à l'incinérateur

Il est très courant de séparer les métaux ferreux et non ferreux des déchets envoyés aux incinérateurs de déchets solides municipaux

■ Tableau 5. Exemples de ségrégations techniques

Type de déchet	Techniques de ségrégation
Déchets municipaux mixtes	La ségrégation n'est pas normalement appliquée à moins que des lots de déchets divers distincts soient reçus, quand ceux-ci peuvent être mélangés dans le silo Des objets volumineux qui nécessitent un prétraitement peuvent être séparés Des aires de ségrégation d'urgence pour des déchets rejetés
Déchets municipaux prétraités et combustibles dérivés de déchets	Une ségrégation n'est pas effectuée normalement Des aires de ségrégation d'urgence pour des déchets rejetés
Déchets dangereux	Des procédures complètes nécessaires pour la séparation des matériaux chimiquement incompatibles (des exemples comme suit): - l'eau des phosphures - l'eau des isocyanates - l'eau des matières alcalines - cyanures des acides - matériaux inflammables des agents oxydants, et conserver la ségrégation des déchets livrés emballés et déjà séparés
Boues d'épuration	Déchets généralement bien mélangés avant l'arrivée à l'usine Quelques lots de déchets industriels peuvent être livrés séparément, et nécessitent une ségrégation avant d'être mélangés

Source: European Commission 2006.

5.1.5 Manipulation, stockage et prétraitement corrects

Il est indispensable de manipuler correctement tout déchet, en particulier les déchets dangereux. On procédera à un tri et à une ségrégation appropriées afin d'assurer un traitement sans risque (Tableau 5).

Les aires de stockage doivent être isolées correctement, avec un drainage contrôlé et une protection contre les intempéries. Il faut envisager la mise en place de systèmes de détection et de contrôle d'incendie, et aussi prévoir une capacité adéquate pour retenir les eaux nécessaires pour lutter contre les incendies sur le site. Les aires de stockage et de manipulation devront être conçues pour éviter la contamination des milieux environnementaux, et pour faciliter le nettoyage en cas de fuites et de déversements. On peut minimiser les odeurs et les rejets de polluants organiques persistants en utilisant l'air des soutes et silos pour alimenter le procédé de combustion. Dans le cas de boues d'épuration, le prétraitement doit assurer qu'un séchage et un conditionnement adéquats ont bien été effectués.

5.1.6 Minimisation des temps de stockage

Bien qu'il soit important de disposer d'un flux constant de déchets pour une opération continue, et de conditions stables de combustion dans les grands incinérateurs de déchets municipaux, il est peu probable que des déchets stockés s'améliorent avec le temps. En minimisant la période de stockage on évitera la putréfaction et des réactions non désirables, ainsi la détérioration des conteneurs et de l'étiquetage. Avec une bonne gestion des arrivages, et en communiquant avec les fournisseurs, on évitera de dépasser des temps de stockage raisonnables (environ quatre à sept jours pour les déchets municipaux solides).

5.1.7 L'établissement des critères de qualité pour les installations fonctionnant aux déchets

Il faut que les opérateurs puissent être en mesure de prévoir avec précision la valeur calorifique et les autres attributs des déchets à incinérer, afin de pouvoir s'assurer que les paramètres techniques de l'incinérateur soient respectés. Ceci peut se faire à l'aide des résultats d'un programme de suivi des déchets en ce qui concerne les contaminants et les paramètres clés pour que les fréquences d'échantillonnage et d'analyse, ainsi que la rigueur, augmentent au fur et à mesure qu'augmente la variabilité du déchet.

5.1.8 Chargement des déchets

Pour les installations qui acceptent des déchets solides municipaux hétérogènes, un mélange bien fait et un chargement correct du silo d'alimentation sont très importants. Les opérateurs des grues de chargement doivent avoir à la fois une bonne expérience, et aussi une position sur la grue permettant de bien surveiller les opérations, pour être en mesure de sélectionner le mélange de déchets approprié, permettant ainsi à l'incinérateur de fonctionner à son niveau optimal d'efficacité.

5.2 Les pratiques pour l'opération et la gestion d'incinérateurs

5.2.1 Assurer une bonne combustion

Pour éviter au maximum la formation et la récupération des substances chimiques inscrites à l'Annexe C, il est important d'assurer un contrôle précis des paramètres de combustion, et des gaz produits. Pour les unités en approvisionnement continu, le minutage du chargement, le contrôle des conditions de combustion et la gestion en aval de la combustion sont des considérations importantes (voir la sous-section 6 ci dessous)

5.2.2 Eviter le démarrage à froid, les anomalies et les arrêts

Ces événements sont normalement caractérisés par une combustion insuffisante, qui crée par conséquence les conditions favorisant la formation des substances chimiques inscrites à l'Annexe C. Pour les incinérateurs de plus petite taille, modulaires, qui opèrent en discontinu, l'allumage et l'arrêt peuvent se produire chaque jour. Un préchauffage de l'incinérateur et un démarrage avec un mélange de combustible fossile propre permettront d'atteindre plus rapidement des températures de combustion efficaces. Lorsque c'est possible, néanmoins, des opérations en continu devraient être la pratique

retenue. Indépendamment du mode opératoire, il ne faut introduire le déchet que lorsque la température voulue est atteinte (par exemple, au dessus de 850°C). Des anomalies peuvent être évitées en effectuant des inspections périodiques, et en assurant une maintenance préventive. Les opérateurs de l'incinérateur ne doivent pas l'alimenter pendant les opérations de court-circuit des filtres («*dump stack*» en anglais) ou pendant des problèmes majeurs d'anomalies de combustion.

5.2.3 Inspection et entretien réguliers des installations

Des inspections de routine doivent être effectuées par l'opérateur, et des inspections périodiques par les autorités concernées, pour le four et les dispositifs de contrôle de la pollution de l'air, afin d'assurer l'intégrité du système et la performance correcte de l'incinérateur et de ses composants.

5.2.4 Suivi du procédé

Une combustion à haute efficacité peut être facilitée par la mise en place d'un régime de suivi des paramètres principaux des opérations, tels que la teneur en monoxyde de carbone (CO), la vitesse massique du flux, la température et la teneur en oxygène. Une teneur faible en CO est associée à une haute efficacité de combustion, en termes de l'efficacité de la destruction des déchets solides municipaux. En général, si la concentration en CO est faible en volume (par ex. <50 parts par million ou 30 mg/m³) dans le flux des gaz, cela indique qu'il y a une très bonne combustion à l'intérieur de la chambre de combustion. Une bonne efficacité de combustion est liée à une diminution de la formation de PCDD/PCDF à l'intérieur de l'incinérateur, et les températures dans la chambre de combustion devraient donc être enregistrées.

Le monoxyde de carbone, l'oxygène dans le flux de gaz, les matières sous forme de particules, l'acide chlorhydrique (HCl), le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NOx), l'acide fluorhydrique (HF), les débits d'air et les températures, les chutes de pression, et le pH dans le flux de gaz doivent être contrôlés et gérés régulièrement. Ces mesures reflètent les conditions de combustion et donnent des indications générales sur les risques de formation et de rejet des substances chimiques inscrites à l'Annexe C. Des mesures périodiques ou des mesures semi continues (échantillonnage continu et analyse périodique) des PCDD/PCDF dans les flux de gaz peuvent aider à assurer que les rejets soient réduits au minimum et que l'incinérateur fonctionne bien.

Au Japon, on autorise des mesures simplifiées, par essais biologiques, comme méthodes officielles standard pour des mesures périodiques de dioxines dans les émissions des incinérateurs de déchets ayant une capacité de moins de 2 t/h (voir aussi section III.C (vi))

5.2.5 Manipulation des résidus

Les cendres résiduelles et les cendres volantes de l'incinérateur doivent être manipulées, transportées et éliminées de manière écologiquement rationnelle. Ceci inclut la gestion séparée des cendres résiduelles, des cendres volantes et d'autres résidus du traitement des gaz, afin d'éviter une contamination des cendres résiduelles, et donc d'améliorer la récupération de ces cendres résiduelles. Les transports routiers en camions couverts, et

L'utilisation de sites d'enfouissement spécialisés sont des pratiques courantes pour la gestion de ces résidus.

Si l'on envisage en particulier la réutilisation de ces résidus, il faut évaluer le contenu et la mobilité potentielle dans l'environnement des métaux lourds et des substances inscrites à l'Annexe C; les recommandations adoptées par la Convention de Bale, puis reprises par la Conférence des Parties de la Convention de Stockholm, devront être suivies. Des analyses périodiques des cendres peuvent aussi servir d'indicateur de la performance de l'incinérateur, ou de la présence éventuelle de déchets ou combustibles illégaux ou non autorisés.

Des effluents provenant des systèmes de lavage des gaz, y compris les gâteaux de filtration produits par le lavage humide, sont considérés comme des déchets dangereux dans de nombreux pays et doivent être traités et éliminés d'une manière écologiquement rationnelle (par exemple, par une stabilisation avant l'enfouissement dans des décharges sanitaires).

5.2.6 Formation des opérateurs

Des cours de formation réguliers pour le personnel sont essentiels pour un fonctionnement efficace d'incinérateurs de déchets. Aux Etats-Unis par exemple, la formation et la certification des opérateurs sont assurées par l'American Society of Mechanical Engineers (voir aussi la Section III C (v) du présent guide).

5.2.7 Maintien de la sensibilisation du public, et communication

Le succès d'un projet d'incinérateur de déchets dépendra beaucoup de la création, et de l'entretien, d'une attitude positive du public vis-à-vis du projet. Ce travail de sensibilisation devra commencer aussitôt que les détails du projet sont connus. Le public et les groupements consultatifs de citoyens auront des inquiétudes compréhensibles à propos de la construction et l'opération d'une installation, et il faudra traiter ces inquiétudes de manière ouverte et honnête pour éviter toute désinformation et toute mauvaise compréhension.

Les moyens pratiques pour améliorer la sensibilisation du public et son engagement comprennent: la publication à l'avance d'articles dans les journaux; la distribution d'information chez les particuliers concernés; la sollicitation de commentaires sur les options de conception et de fonctionnement; la mise en place de panneaux d'information dans les espaces fréquentés par le public; l'ouverture de registres relatifs aux rejets et aux mouvements de polluants; et l'organisation de réunions et de forums de discussions fréquents.

Les autorités, et ceux qui proposent des projets d'incinération, devront s'engager, ensemble avec les groupements d'intérêt public, en organisant des réunions régulières de consultation avec la population concernée et des journées d'information avec visites de sites, en affichant des données et autres informations sur Internet, et en fournissant des données en temps réel sur les opérations et les rejets du site de l'installation. Les consultations avec le public doivent être transparentes et avoir une signification réelle et sincère, si elles veulent être efficaces.

6. Meilleures techniques disponibles pour l'incinération

En plus des meilleures pratiques environnementales pour l'incinération des déchets solides municipaux, des déchets dangereux et des boues d'épuration, il existe une variété de techniques déjà éprouvées de combustion, de lavage des gaz, et de gestion des résidus pour empêcher la formation ou pour minimiser les rejets de substances chimiques inscrites à l'Annexe C. Pour une analyse détaillée de ce que représente les meilleures techniques disponibles pour l'incinération des déchets, il faut se référer à: European Commission BAT Reference (BREF) Document on waste incineration (European Commission 2006).

Il existe aussi des options de technologies qui ne font pas appel à l'incinération, et d'autres technologies émergentes (cf. section III.C (ii) du présent guide) qui peuvent représenter des alternatives écologiquement rationnelles et viables à l'incinération. L'objet de cette sous-section cependant, est d'identifier les meilleures techniques applicables au procédé d'incinération. Les meilleures techniques disponibles pour l'incinération comprennent: la conception, le mode opératoire et l'entretien d'une usine d'incinération qui minimisent, de manière effective, la formation et le rejet des substances chimiques inscrites à l'Annexe C.

En considérant les meilleures techniques disponibles pour l'incinération des déchets, il est important de considérer que la solution optimale pour un type particulier d'installation d'incinération peut varier en fonction des conditions locales. Les meilleures techniques disponibles présentées ici ne représentent pas une liste de contrôle donnant la meilleure solution, car ceci nécessiterait une considération des conditions locales avec un détail dont on ne peut tenir compte, dans un document traitant des meilleures techniques disponibles en général. Donc une simple combinaison d'éléments individuels décrits ici comme étant les meilleures techniques disponibles, sans prendre en considération les conditions locales, ne pourra pas représenter une solution optimale locale par rapport à l'ensemble de l'environnement (European Commission 2006).

Avec une combinaison appropriée de mesures primaires et secondaires, des niveaux de PCDD/PCDF dans les émissions dans l'air qui ne dépassent pas 0,1 ng I-TEQ/Nm³ (à 11% O₂), sont associés aux meilleures techniques disponibles. On note aussi que dans des conditions normales d'opération, on peut atteindre des niveaux plus faibles que ceux-ci, avec un incinérateur de déchets bien conçu.

Les meilleures techniques disponibles pour les rejets d'eaux usées des unités de traitement des eaux, recevant des effluents des unités de lavage des gaz, sont associées à des niveaux de concentration de PCDD/PCDF de bien moins que 0,1 ng I-TEQ/l.

Comme exemple illustratif d'un niveau de référence multimédia, on peut citer le fait que le Japon a présenté en 1997 un objectif futur pour la quantité totale de PCDD/PCDF rejetés, comprenant non seulement les PCDD/PCDF contenus dans les gaz, mais aussi ceux dans les cendre résiduelles et volantes; cet objectif est de 5 mg I-TEQ/t de déchet (voir la sous-section 3, Tableau 3 ci-dessus, pour une comparaison).

Il faut dire que la plupart des conclusions au sujet des meilleures techniques disponibles dans cette section sont tirées du document BREF sur l'incinération des déchets (European Commission 2006). Il existe de nombreux incinérateurs à travers le monde qui sont

conçus et opérés suivant la plupart des paramètres définissant les meilleures techniques disponibles, et qui respectent les niveaux des émissions qui y sont associés.

6.1 Sélection de sites

Pour l'incinération des déchets il faudrait prendre en compte les facteurs locaux suivants, entre autres:

- Les facteurs environnementaux locaux, par exemple la qualité de base de l'environnement, peuvent avoir une influence sur les performances demandées en termes des rejets de l'installation, ou de la disponibilité de certaines ressources;
- La nature particulière des déchets générés localement, et l'impact de l'infrastructure de gestion de déchets sur le type et la nature des déchets arrivant à l'installation;
- Le coût, et la possibilité technique, de mettre en œuvre une technique particulière en relation avec ses avantages potentiels – ceci est particulièrement important lorsqu'on considère la performance d'installations existantes;
- La disponibilité, le degré d'utilisation et le prix des options, pour la récupération et l'élimination de résidus produits à l'installation;
- La disponibilité des utilisateurs et les prix reçus pour l'énergie récupérée;
- Des facteurs locaux économiques, de marché et politique, qui pourraient influencer l'acceptabilité des tarifs de traitement plus élevés, qui pourraient accompagner l'adoption de certaines technologies supplémentaires.

6.2 Les meilleures techniques disponibles pour les déchets à l'arrivée et pour leur contrôle

- Maintenir le site en ordre et dans un état propre;
- Mettre en place, et maintenir, des contrôles de qualité pour les déchets à l'arrivée, en fonction du type de déchets que l'installation pourrait recevoir. Ceci inclut:
 - Mise en place de système de limitation pour les entrées, et identification des risques les plus importants;
 - Communication avec les fournisseurs de déchets, afin d'améliorer le contrôle de qualité des déchets entrants;
 - Contrôle de la qualité des matières alimentant l'incinérateur;
 - Vérification, échantillonnage et contrôle des déchets à l'arrivée;
 - Utilisation de détecteurs de matières radioactives.

6.3 Les meilleures techniques disponibles pour la combustion

Les conditions optimales de combustion supposent:

- Un bon mélange du combustible et d'air, pour minimiser l'existence de poches de produits de combustion qui pourraient persister et être riche en combustible;
- L'obtention de températures suffisamment élevées en présence d'oxygène, pour permettre la destruction de tout hydrocarbure;
- La prévention de zones de trempe, ou de voies de basses températures, qui pourraient permettre au combustible partiellement brûlé de quitter la chambre de combustion.

Ces conditions seront plus facilement respectées si on assure une bonne gestion des paramètres: temps, température et turbulence (les «3 T»), ainsi que d'oxygène (débit d'air), en s'appuyant sur une bonne conception et opération de l'incinérateur. Il faut maintenir des températures égales ou supérieures à 850°C (par exemple, pour des déchets avec une teneur en substances organiques halogénées, exprimée en chlore, >1%: au dessus de 1'100°C) pour garantir une combustion complète dans la plupart des technologies. La turbulence, en mélangeant l'air et le combustible, évite la formation de points froids dans la chambre de combustion, et aussi une accumulation de carbone, qui peut réduire l'efficacité de combustion. Le temps de résidence conseillé dans la chambre de combustion secondaire du four primaire est d'au moins 2 secondes à 6% d'oxygène.

6.3.1 Techniques générales de combustion

1. S'assurer que la conception du four est adaptée aux caractéristiques des déchets à traiter.
2. Maintenir des températures dans les zones de combustion de la phase gazeuse dans une fourchette optimale pour achever l'oxydation du déchet (par exemple, à 850°–950° C dans des incinérateurs de déchets solides municipaux à grille; à 1'100°–1'200° C quand la teneur en chlore du déchet est élevée).
3. Prévoir des temps de résidence suffisants (par exemple, au moins 2 secondes à 6% d'oxygène) et un mélange turbulent dans la (les) chambre(s) de combustion pour assurer une incinération complète.
4. Préchauffer l'air primaire et secondaire pour faciliter la combustion.
5. Toujours utiliser un procédé en continu plutôt que discontinu, lorsque cela est possible, afin de minimiser les fuites au démarrage et à l'arrêt de l'installation.
6. Mettre en place des systèmes pour surveiller des paramètres de combustion cruciaux, tels que la température, les pertes de pression, les niveaux de CO, CO₂ et O₂ et, lorsque cela est applicable, la vitesse de la grille.

7. Prévoir des interventions de contrôle pour ajuster le débit des déchets d'alimentation, la vitesse de grille, et la température, le volume et la distribution de l'air primaire et secondaire.
8. Installer des brûleurs auxiliaires automatiques, pour maintenir les températures à un niveau optimal dans la (les) chambre(s) de combustion.
9. Utiliser l'air provenant des silos et des installations de stockage comme air de combustion.
10. Installer un système qui arrêtera automatiquement l'arrivée des déchets quand les paramètres de combustion ne sont plus appropriés.

6.3.2 Techniques d'incinération des déchets solides municipaux

1. Les incinérateurs à «masse brûlée» (à grille mobile) ont fait leur preuve pour la combustion des déchets solides municipaux hétérogènes, et ont un long passé opérationnel.
2. Les incinérateurs à foyer refroidi à l'eau ont le double avantage de permettre un meilleur contrôle de la combustion, et d'avoir la capacité de traiter des déchets solides municipaux à haut pouvoir calorifique.
3. Les fours rotatifs peuvent accepter des déchets solides municipaux hétérogènes, mais en moindre quantité que les fours à «masse brûlée», ou que des fours à grille mobile.
4. Les fours à grille statique avec des systèmes de transport (par ex. des pistons) ont moins de pièces en mouvement, mais les déchets peuvent demander plus de prétraitement (c'est-à-dire: déchiquetage, tri).
5. Les configurations modulaires, avec chambre de combustion secondaire, ont fait leurs preuves pour des applications à plus petite échelle. Selon leur taille, certaines de ces installations seront peut être obligées de travailler en mode discontinu.
6. Les fours à lit fluidisé, et les fours à foyer à épandage ou mécanique, sont bien adaptés pour les matières finement divisées et régulières, comme les combustibles dérivés de déchets.

6.3.3 Techniques d'incinération de déchets dangereux

1. Les fours rotatifs sont bien adaptés pour l'incinération des déchets dangereux et peuvent accepter les liquides, les pâtes, aussi bien que les solides.
2. Les fours refroidis à l'eau peuvent opérer à des températures plus élevées, et peuvent donc accepter des déchets à valeur énergétique plus élevée.
3. Il faut envisager soigneusement l'utilisation de chaudières à récupération de chaleur perdue, en particulier par rapport à la possibilité de reformation de PCDD/PCDF.

4. La régularité des déchets (et de la combustion) peut être améliorée en déchiquetant les fûts et les autres emballages de déchets dangereux.
5. Un système d'égalisation des matières approvisionnées (par ex. des convoyeurs à vis sans fin, qui peuvent concasser et fournir un volume constant de déchets solides dangereux pour le four) aidera à assurer une arrivée continue et contrôlée dans le four, tout en conservant des conditions de combustion constantes.

6.3.4 Techniques d'incinération de boues d'épuration

1. Les incinérateurs à lit fluidisé ont bien démontré leur efficacité pour le traitement thermique de ces boues.
2. Les fours à lit fluidisé à circulation, permettent une plus grande souplesse au niveau du combustible que les lits à agitation en bouillonnement, mais exigent des cyclones pour conserver le matériau du lit.
3. On doit faire attention, avec ces lits à bouillonnement, d'éviter les colmatages.
4. La récupération de la chaleur du procédé et de son utilisation pour le séchage des boues, réduira la nécessité d'un combustible auxiliaire.
5. Les technologies d'alimentation sont importantes pour la co-incinération des boues d'épuration dans les incinérateurs de déchets solides municipaux. Les techniques éprouvées comprennent: boues séchées insufflées comme poussières; boues essorées arrivant par des arrosoirs, réparties et mélangées sur le foyer: et boues sèches ou essorées mélangées à des déchets solides municipaux et introduites simultanément (European Commission 2006)².

6.4 Meilleures techniques disponibles pour le traitement des gaz de combustion

Le type et l'ordre des traitements appliqués aux gaz de combustion, une fois qu'ils sont sortis de la chambre d'incinération, sont importants, à la fois pour le fonctionnement optimal des machines et pour le coût effectif global de l'installation. Les paramètres d'incinération de déchets qui affectent la sélection des techniques comprennent: le type de déchets, leur composition, leur variabilité; le type de procédé de combustion; le débit et la température des gaz de combustion; et le besoin, et la disponibilité, d'un système de traitement des eaux usées. Les techniques de traitement suivantes ont un impact direct ou indirect, pour prévenir la formation, et minimiser le rejet, des substances chimiques inscrites à l'Annexe C. Les meilleures techniques disponibles impliquent l'application des combinaisons les mieux adaptées de systèmes d'épuration des gaz de combustion.

6.4.1 Techniques d'extraction des poussières (matières particulaires)

1. L'extraction de la poussière des flux gazeux est essentielle pour toutes les opérations d'incinération.

2. Les électrofiltres et les filtres en tissu ont prouvé leur efficacité, comme techniques de captage des matières très fines dans les gaz de combustion des incinérateurs. Pour une comparaison des systèmes primaires d'extraction des poussières, voir le tableau 3, section III.C (iv) du présent guide.
3. Les cyclones et multi-cyclones sont moins efficaces pour l'extraction de la poussière, et ne devraient être utilisés que pour l'étape de pré-dépoussiérage, afin d'extraire les particules les plus grosses du flux de gaz, et de réduire la charge arrivant dans les dispositifs de traitement en aval. Ce pré-dépoussiérage des grosses particules diminuera le volume des cendres volantes contaminées par des fortes teneurs en polluants organiques persistants.
4. L'efficacité des électrofiltres diminue lorsque la résistivité électrique de la poussière augmente. Il faut tenir compte de ce fait lorsque la composition des déchets varie rapidement (par ex. pour les incinérateurs de déchets dangereux)
5. Les électrofiltres et les filtres en tissu devraient fonctionner en dessous de 200°C, pour diminuer la formation de PCDD/PCDF et d'autres substances chimiques inscrites à l'Annexe C.
6. Les électrofiltres par voie humide peuvent capturer de très fines particules, mais exigent le traitement de l'effluent, et sont généralement employés après le dépoussiérage.
7. Les filtres en tissu (filtres à manche) sont largement utilisés dans l'incinération des déchets et ont l'avantage supplémentaire d'apporter une filtration complémentaire et une surface réactive dans le gâteau de filtration, lorsqu'ils sont couplés à une injection d'absorbants semi humides (séchage par pulvérisation).
8. Il faut contrôler les chutes de pression à travers les filtres en tissu, et aussi la température du flux gazeux (si un système d'épuration est mis en place en amont), pour assurer que le gâteau de filtration sont en place, et que les sacs de filtres ne fuient pas, ni ne sont mouillés. Un système de détection de fuite des sacs, par détecteur triboélectrique, représente l'une des options pour suivre les performances des filtres en tissu.
9. Les filtres en tissus sont sensibles à des dommages par l'eau et par une corrosion; les flux de gaz doivent être maintenus à une température au dessus du point de rosée (130°C à 140°C) pour éviter ces effets. Pour un survol des choix de matériaux pour filtres et leurs caractéristiques, voir le Tableau 2 à la section III.C (iv) du présent guide.

6.4.2 Techniques d'extraction des gaz acides

1. Les épurateurs à voie humide pour le lavage des gaz présentent les meilleures efficacités pour les gaz acides solubles, parmi les techniques existantes, où le pH de l'eau de l'épurateur est fonction de l'efficacité d'extraction. Il est possible que les particules solides dans les eaux du laveur

provoquent une interaction avec les PCDD/PCDF dans la phase gazeuse mobile, influant ainsi la fiabilité de la relation entre les résultats obtenus à partir des mesures de suivi périodiques, et la performance de destruction de l'installation.

2. Un premier dépoussiérage du flux de gaz peut être nécessaire pour prévenir le colmatage de l'épurateur, à moins que celui-ci n'ait une capacité suffisamment grande.
3. L'utilisation de matériaux imprégnés de charbon, de charbon actif ou de coke comme garnissage dans l'épurateur peut donner une réduction de 70% des PCDD/PCDF dans l'épurateur (European Commission 2006), mais ceci peut ne pas se retrouver dans les rejets globaux.
4. Les sécheurs à pulvérisation (laveurs semi humides) ont une très bonne efficacité d'extraction, et ont l'avantage de ne pas exiger un traitement ultérieur des effluents. En plus des agents alcalins ajoutés lors de l'extraction des gaz acides, l'injection de charbon actif est aussi efficace pour éliminer les PCDD/PCDF, ainsi que le mercure. Les systèmes secs de lavage par atomisation arrivent régulièrement à réduire les teneurs du SO₂ à 93%, et celles du HCl à 98%.
5. Les sécheurs à pulvérisation, comme il est noté ci-dessus, sont généralement mis en place en amont des filtres en tissu. Les filtres arrêtent les réactifs et les produits similaires, tout en offrant une surface réactive complémentaire sur le gâteau de filtration.
6. Dans de telles combinaisons, la température à l'entrée du filtre en tissu est importante. Des températures au dessus de 130°C-140°C sont normalement nécessaires afin de prévenir la condensation et donc une corrosion des manches.
7. Pour l'extraction des gaz acides, les systèmes d'épuration à sec ne peuvent atteindre l'efficacité de la voie humide ou semi humide (pulvérisateur) sans augmenter de manière significative le volume de réactifs/sorbants. En augmentant l'utilisation de réactif, on augmentera le volume des cendres volantes.

6.4.3 Techniques de finition (polissage) dans le traitement des gaz de combustion

1. Il sera peut-être approprié de prévoir une extraction additionnelle de la poussière, avant que les gaz de combustion ne sortent par la cheminée. Les techniques de polissage du traitement des gaz peuvent comprendre des filtres en tissu, des filtres électrostatiques par voie humide, et les laveurs à effet venturi.
2. La double filtration (montage de filtres en série) permet d'atteindre facilement des efficacités de récupération de 1mg/Nm³ ou moins.

3. Les bénéfices additionnels de ces techniques peuvent être limités, et disproportionnés en termes de coût/efficacité, si des techniques efficaces situées en amont existent déjà.
4. Le polissage des gaz de combustion peut être fort utile dans les grandes installations, et lors de lavages complémentaires des flux gazeux en amont d'une réduction catalytique sélective
5. On peut obtenir une adsorption en injectant du charbon actif, dans des lits fixes, ou en utilisant des matériaux imprégnés de carbone.

6.4.4 Techniques d'élimination d'oxydes d'azote (NOx) à l'aide d'un catalyseur

1. Bien que le rôle premier de la réduction sélective catalytique soit la réduction des émissions de NOx, cette technique peut aussi détruire les substances chimiques inscrites à l'Annexe C (par ex. des PCDD/PCDF) qui se trouvent en phase gazeuse, ceci avec un rendement de 98-99,5% (European Commission 2006).
2. Il faudra peut-être chauffer les gaz de combustion à nouveau vers 250°C-400°C, pour assurer un bon fonctionnement du catalyseur.
3. Les performances des systèmes de réduction catalytique sélective augmentent avec l'utilisation d'une étape de polissage des gaz de combustion, en amont. Ces systèmes sont installés après dépoussiérage et extraction des gaz acides.
4. Les coûts élevés (investissement et énergie) de la réduction catalytique sélective, sont plus facilement supportés par les grandes usines avec d'importants débits de gaz, grâce aux économies d'échelle.

6.5 Techniques de gestion pour les résidus solides

Les résidus d'incinération comprennent différents types de cendres (par ex. les cendres lourdes, les cendres de chaudières, les cendres volantes) et les résidus d'autres procédés de traitement des gaz de combustion (par ex. du gypse des laveurs des gaz), incluant aussi des effluents liquides provenant des systèmes d'épuration humide.

Les systèmes d'épuration des gaz sec et semi-humide produisent normalement plus de déchets solides que les épurateurs humides. En plus, ce déchet peut contenir des cendres volantes (si celles-ci ne sont pas bien séparées), des métaux lourds (surtout du mercure) et des sorbants qui n'ont pas réagi.

Du fait que les éléments qui pourraient causer des problèmes peuvent varier considérablement, il est souvent utile de maintenir le tri des résidus pour pouvoir les traiter, les gérer et les éliminer plus facilement. La présence et la concentration des substances chimiques inscrites à l'Annexe C dans ces résidus seront fonction de leur existence dans les déchets à l'arrivée, de leur survie ou formation pendant le processus d'incinération, et de leur formation et récupération pendant le traitement des gaz de combustion. Les techniques qui peuvent être prises en compte sont décrites en détail

dans les Directives Techniques de Bâle (Basel Technical Guidelines), chapitre IV, G 3, et aussi dans la section III C. (iv) – sous sections 2.1.2 et 2.2 de la présente directive. Il sera nécessaire de considérer, cas par cas, lesquelles de ces techniques pourraient être considérées comme des meilleures techniques disponibles, ou des meilleures pratiques environnementales.

6.5.1 Techniques pour le traitement des cendres résiduelles et des cendres de chaudières

Les cendres résiduelles provenant des incinérateurs modernes, fonctionnant avec les meilleures techniques disponibles (par ex. les incinérateurs assurant une combustion excellente), ont tendance à contenir des teneurs très basses en substances chimiques inscrites à l'Annexe C, du même ordre de grandeur que les concentrations de base dans des sols urbains (c'est-à-dire, <1–10 ng I-TEQ/kg cendre). Les concentrations dans les cendres de chaudière tendent à être plus élevées (20 à 500 ng I-TEQ/kg cendre), mais les deux sont bien en dessous des concentrations moyennes trouvées dans les cendres volantes (European Commission 2006).

En raison des différences de concentration des polluants, le mélange des cendres lourdes avec les cendres volantes contaminera les premières, et cette pratique est interdite dans plusieurs pays. La collecte et stockage séparés de ces résidus permettent aux opérateurs davantage de possibilités pour la mise en décharge.

Les cendres lourdes (ou les scories des incinérateurs à lit fluidisé) sont éliminées dans des décharges mais peuvent aussi être utilisées dans la construction, et comme matériaux pour les routes après un prétraitement. Avant toute utilisation de ce type, cependant, il est nécessaire de faire une évaluation de la composition et des caractéristiques de lixiviation des cendres, et aussi de définir les concentrations supérieures acceptables de polluants organiques persistants, de métaux lourds et d'autres paramètres.

Les techniques de prétraitement comprennent des traitements secs, humides et thermiques, ainsi que le tamisage, le broyage et la séparation des métaux.

On sait que l'extraction par lixiviation des substances chimiques inscrites à l'Annexe C augmente avec le pH et les conditions humiques (présence de matières organiques). Ceci suggère que les décharges techniques ou spécialisées sont préférables aux sites acceptant les déchets mixtes.

6.5.2 Techniques de gestion pour les résidus venant des traitements des gaz

A la différence des cendres lourdes, les résidus venant des équipements de contrôle de la pollution de l'air, y compris les cendres volantes et les boues des laveurs de gaz, peuvent contenir des concentrations relativement élevées de métaux lourds, de polluants organiques (PCDD/PCDF inclus), de chlorures et de sulfures. En enlevant séparément les cendres volantes et résidus venant des étapes de lavage des gaz (c'est à dire celles pour l'élimination des gaz acides et des dioxines), on évite de mélanger des fractions de déchets faiblement contaminées avec celles qui sont hautement contaminées.

Dans le cas où des cendres lourdes doivent être utilisées ultérieurement (par ex. comme matière de construction), de les mélanger avec d'autres résidus de traitement des gaz ne représente pas la meilleure technique disponible.

Dans beaucoup de pays, les cendres volantes sont éliminées dans des décharges sanitaires. Cependant il est possible qu'un prétraitement soit nécessaire pour que cela constitue une meilleure technique disponible (voir aussi la section III. C (iv – Gestion des gaz de procédé et d'autre résidus) sur les Considérations Croisées - sous section 2.1.2 et 2.2).

6.6 Meilleures techniques disponibles pour le traitement des effluents

Les eaux de procédé dans l'incinération de déchets viennent surtout de l'utilisation de technologies de lavage humide. Les besoins en eaux, et leur traitement, peuvent être allégés en utilisant des systèmes secs ou semi-humides.

Les meilleures techniques disponibles pour le traitement des eaux usées comprennent:

- l'optimisation de la recirculation, et la réutilisation des eaux usées produites dans l'installation,
- l'utilisation de systèmes séparés pour le traitement des eaux ayant des niveaux de contamination différentes,
- l'utilisation de traitements physico-chimiques des effluents venant des épurateurs, et
- l'élimination de l'ammoniac, si nécessaire.

Pour éliminer les composés organiques, on utilise des filtres au coke activé et des polymères imprégnés au carbone.

En utilisant une combinaison appropriée de traitements adaptés (voir aussi section III.C sur les Considérations Croisées), les niveaux des PCDD/PCDF dans les eaux traitées seront dans une fourchette <0,1–0,1 ng I-TEQ/l (European Commission 2006).

6.7 Impact des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales sur d'autres polluants

La description des techniques et pratiques faites dans ce document de directives provisoires se focalise surtout sur leur efficacité prouvée dans la prévention, la minimisation ou la réduction de la formation et le rejet de composés inscrits à l'Annexe C. Plusieurs de ces pratiques servent aussi à réduire les rejets d'autres polluants, et certaines sont peut-être surtout conçues avec cet objectif (par ex. la séparation à la source de métaux et autres non-combustibles dans les déchets à l'arrivée, la réduction catalytique sélective pour le contrôle du NO_x, le contrôle des gaz acides pour réduire le SO₂, l'adsorption sur carbone pour le contrôle du mercure). Certaines pratiques qui ont été peut-être conçues pour le captage d'autres polluants (par ex. des électrofiltres d'entrée à plus haute température), ont dues être reconfigurées ou remplacées, pour éviter d'accroître la formation et le rejet de produits chimiques inscrits à l'Annexe C.

En fin de compte, ce que constitue les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales, est plus vaste que l'impact seul sur les substances inscrites

à l'Annexe C, car leur utilisation couvre tous les aspects du processus d'incinération, de la récupération d'énergie, du traitement des gaz de combustion, du traitement des eaux et du traitement des résidus. Cependant la grande majorité de ces techniques et pratiques sont complémentaires, avec comme objectifs la prévention ou la réduction des rejets des produits chimiques inscrits à l'Annexe C (pour des considérations sur les effets bénéfiques additionnels, voir la section III.C (iii) du présent guide).

6.8 Incinérateurs neufs ou modifiés de manière significative

La Convention de Stockholm (Annexe C, Partie V, section B, sous-paragraphe (b)) dit qu'avant tout projet de construction ou de modification significative de sources qui rejettent des substances chimiques de l'Annexe C, les Parties doivent «examiner en priorité les procédés, techniques ou méthodes de remplacement qui présentent la même utilité, mais qui évitent la formation et le rejet» de ces substances chimiques. Dans le cas où cette considération mène à une décision de construire ou de faire une modification, la Convention fournit un ensemble de mesures générales de réduction qui doivent être prises en compte. Tandis que ces mesures générales ont été incorporées dans les discussions précédentes sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales, il existe d'autres facteurs qui seront importants pour une prise de décision concernant la faisabilité d'une construction ou d'une modification d'un incinérateur pour déchets. Il faudra prendre en compte les effets directs et indirects sur la santé de l'homme et de l'environnement, en effectuant une étude d'impact appropriée. D'autres facteurs à considérer sont donnés ci-dessous.

6.8.1 Facteurs additionnels dans le choix d'un site pour un nouvel incinérateur de déchets solides municipaux

1. Existe-il une prévision précise de la nature et du volume des déchets solides municipaux non recyclables générés dans la zone concernée ?
2. Est-ce que l'apport de déchets sera suffisant pour permettre une marche en continu de l'incinérateur?
3. Cette prévision inclut-elle des mesures appropriées de minimisation des déchets, de recyclage et de récupération?
4. Est-ce qu'il existe une logistique suffisante pour assurer la collecte et le transport?
5. A-t-on examiné l'existence de restrictions éventuelles pour le transport de déchets, entre Etats ou à l'intérieur des Etats?
6. Existe-il un marché suffisant pour tout matériau qui pourrait être séparé sur le site?
7. Existe-il des marchés pour l'excédent de vapeur ou d'électricité généré sur le site?
8. Y a-t-il des options écologiquement rationnelles pour le traitement et l'élimination des résidus?

6.8.2 Facteurs additionnels pour le choix d'un site de nouveaux incinérateurs de déchets dangereux

1. Existe-il une prévision exacte de la nature et du volume de déchets dangereux générés dans la zone concernée?
2. L'apport de déchets est-il suffisant pour une marche en continu de l'incinérateur?
3. L'infrastructure est-elle suffisante pour répondre aux besoins de transport?
4. Si des mouvements internationaux sont envisagés, y a-t-il en place des accords adaptés pour permettre les transferts transfrontières?
5. Y a-t-il en place des accords avec les fournisseurs pour assurer un emballage et une manipulation sécurisés?
6. Existe-il des marchés suffisants pour la vapeur et l'électricité excédentaires qui seront générées sur le site?
7. Existe-il des options écologiquement rationnelles pour le traitement et l'élimination des résidus?

6.8.3 Facteurs additionnels pour le choix d'un site de nouveaux incinérateurs de boues d'épuration

1. Existe-il une prévision exacte de la nature et du volume des boues d'épuration générées dans la zone à couvrir?
2. Cette quantité, peut-elle assurer la marche en continu de l'incinérateur?
3. Sait-on si les boues d'épuration de la région couverte sont mélangées avec des déchets industriels ou autres?
4. Est-il envisagé de co-incinérer les boues avec des déchets solides municipaux, ou comme combustible d'appoint dans une centrale?
5. Existe-il un marché pour la vapeur ou l'électricité excédentaire générée sur site?
6. Existe-il des options écologiquement rationnelles pour le traitement et l'élimination des résidus?

6.9 Modification d'incinérateurs de déchets existants

Des modifications significatives apportées à un incinérateur de déchets existant peuvent être envisagées pour plusieurs raisons. Celles-ci pourraient concerner l'accroissement de la capacité, la nécessité de faire des réparations majeures, l'amélioration de l'efficacité de combustion et de récupération d'énergie, et le rajout d'équipement de contrôle de la pollution d'air. De nombreux sites d'incinération ont déjà bénéficié de telles additions, améliorant considérablement leur performance environnementale. Avant d'entreprendre une telle modification, et en plus de la «considération prioritaire» citée ci-dessus, il est important d'étudier les facteurs suivants:

1. De quelle manière la modification affectera-t-elle les rejets potentiels des produits chimiques inscrits à l'Annexe C?
2. Si la modification est un ajout d'appareils de contrôle de la pollution d'air, est-elle dimensionnée de manière adéquate pour l'usine?
3. Y a-t-il suffisamment de place pour l'installer et l'opérer convenablement, conformément aux meilleures techniques disponibles? Par exemple, la place disponible pourrait justifier l'ajout d'une unité de filtration double (filtres en série, mais pas forcément côte à côte), plutôt que d'un autre système de lavage des gaz.
4. Est-ce que la machine ajoutée fonctionnera correctement avec les dispositifs existants de contrôle de la pollution de l'air et des eaux usées, pour minimiser les rejets?

Les coûts pour modifier une installation existante dépendent de la situation propre de l'usine et pourraient excéder les coûts de changements similaires faits sur une installation neuve, de 25–50% (European Commission 2006). Des facteurs affectant cette augmentation comprennent l'ingénierie additionnelle nécessaire, l'enlèvement et l'élimination de l'équipement remplacé, la reconfiguration des raccords, et les pertes en productivité avec les temps d'arrêt.

7. Niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles

Avec une combinaison appropriée de mesures primaires et secondaires, des niveaux de performance pour les émissions dans l'air de PCDD/PCDF inférieurs à 0,1 ng I-TEQ/Nm³ (à 11% O₂) sont associés aux meilleures techniques disponibles. On peut aussi noter que dans une unité d'incinération bien conçue, et fonctionnant dans des conditions normales, il est possible d'atteindre des valeurs plus faibles que celles-ci.

Les meilleures techniques disponibles pour les rejets d'eaux usées venant des unités de traitement d'effluents, recevant des effluents des unités de lavage des gaz de combustion, sont associées à des niveaux de concentration de PCDD/PCDF bien inférieurs à 0,1 ng I-TEQ/l.

Références

Austrian Waste Incineration Ordinance, Fed. Law Gazette Nr. II 389/2002

Basel Convention Secretariat. 2002. *Technical Guidelines on the Environmentally Sound Management of Biomedical and Health-Care Waste*. Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal, UNEP, Geneva.

European Commission. 2006. *Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm.

European Council Directive on the landfill of waste (1999/31/EC)

European Directive on the Incineration of Waste (2000/76/EC)

Stubenvoll J., Böhmer S. et al. 2002. *State of the Art for Waste Incineration Plants*. Umweltbundesamt, Vienna.

www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/industrie/pdfs/english_version.pdf.

Umweltbundesamt Berlin. 2001. Draft of a German Report for the creation of a BREF-document «Waste Incineration» Umweltbundesamt Berlin

UNEP (United Nations Environment Programme) Basel Convention Technical Guidelines: General technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants (POPs); 2005

(ii) Déchets médicaux

■ Résumé

L'incinération de déchets médicaux (déchets infectieux, biologiques, objets pointus et parties de corps) dans les usines spécialisées d'incinération, est faite à la fois pour détruire totalement les matières organiques et les produits dangereux, et aussi pour réduire leur volume en tant qu'étape vers la mise en décharge de manière écologiquement rationnelle.

Si le déchet médical est incinéré dans des conditions qui ne représentent pas les meilleures techniques disponibles ni les meilleures pratiques environnementales, il existe alors un potentiel pour le rejet de PCDD/PCDF, dans des concentrations relativement élevées. Pour les petits incinérateurs de déchets médicaux, l'application des meilleures techniques disponibles est souvent difficile, étant donné les coûts élevés associés à la construction, à l'opération, à l'entretien et au suivi de telles installations.

Il existe des alternatives à l'incinération: la stérilisation (vapeur, systèmes à vapeur avancés, chaleur sèche), traitement aux micro-ondes, hydrolyse alcaline, ou traitement biologique, ou dans certains cas la mise en décharge. L'étape la plus importante dans la gestion de ces déchets est la séparation des différents types de déchets à la source. Puisque 75 à 90% des déchets d'hôpitaux sont comparables aux déchets solides municipaux, la séparation préalable permet de beaucoup réduire le volume de ces déchets. Une gestion effective des déchets, y compris une minimisation et une ségrégation à la source, est indispensable.

Il est aussi indispensable d'appliquer des traitements appropriés aux cendres lourdes et aux résidus du lavage des gaz, afin de réduire les rejets de PCDD/PCDF dans l'environnement. L'utilisation des meilleures techniques disponibles dans les incinérateurs réduira aussi les émissions d'acide chlorhydrique et des métaux (en particulier le mercure), et réduira aussi ultérieurement les rejets venant des résidus placés dans des décharges.

Dans le cas d'incinération, des mesures primaires seules réduiront de manière significative l'émission des substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm. Cependant, la mise en oeuvre des meilleures techniques disponibles exige à la fois des mesures primaires et des mesures secondaires.

Avec une combinaison appropriée de mesures primaires et secondaires, des niveaux des émissions de PCDD/PCDF dans l'air inférieurs à 0,1 ng/I-TEQ/Nm³ (à 11 % d'oxygène) sont associés aux meilleures techniques disponibles. On peut aussi noter qu'il est possible d'atteindre des valeurs plus faibles que celles-ci, dans le cas d'une unité d'incinération bien conçue, fonctionnant dans des conditions normales.

Les meilleures techniques disponibles pour les rejets des eaux usées venant des unités de traitement d'effluents recevant des effluents des unités de lavage des gaz, sont associées à des niveaux de concentration des PCDD/PCDF bien inférieurs à 0,1 ng I-TEQ/l

1. Introduction

Cette section considère les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales pour le traitement (thermique) de déchets médicaux (appelés ici «déchets des services de santé»), car la Convention de Stockholm classe les incinérateurs de déchets médicaux dans la Partie II des catégories des sources qui peuvent être responsables pour des émissions significatives de substances inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm.

Cette section traite presque exclusivement la question des déchets infectieux générés par des services de santé. Lorsque des déchets comparables aux déchets domestiques sont bien séparés des déchets infectieux, on peut les traiter par les procédures d'élimination des déchets municipaux. Cependant, en l'absence de pratiques effectives de ségrégation, ainsi que de programmes de gestion et de formation nécessaires pour les mettre en place, la quantité de déchets potentiellement infectieux va augmenter de manière dramatique.

D'autres techniques qui peuvent être utilisées pour le traitement des déchets médicaux, par exemple la stérilisation de déchets infectés, ne donne pas lieu à l'émission de substances inscrites à l'Annexe C. Les avantages, les inconvénients et l'applicabilité de ces techniques ont été décrits par ailleurs et ne seront par traités en détail ici.

2. Les catégories de déchets de soins de santé

Les hôpitaux génèrent de grandes quantités de déchets qui se classent dans des catégories différentes. Ces déchets peuvent provenir d'autres sources, telles que les services d'urgence, les centres de transfusions ou de dialyse, de laboratoires, de la recherche sur animaux et de banques de sang. Entre 75% et 90% de ces déchets sont sans risque, ou sont des déchets banals venant des services de santé qui sont comparables aux déchets domestiques. La plupart provient des services administratifs et du nettoyage dans des établissements de soins de santé, et peuvent aussi inclure des déchets générés par l'entretien des locaux des services de santé. Les 10-25% restants sont considérés comme dangereux et peuvent présenter divers risques pour la santé. Moins de 10% de ces déchets sont de nature infectieuse. D'autres types de déchets peuvent être des produits chimiques toxiques, des médicaments cytotoxiques, et des déchets inflammables et radioactifs

Les différents types de déchets médicaux peuvent classes ainsi:

- Déchets infectieux (dangereux);
- Objets pointus (dangereux);
- Déchets anatomiques et pathologiques (parties du corps, etc.);
- Déchets chimiques, toxiques ou pharmaceutiques, y compris les médicaments cytotoxiques (antinéoplasiques); dangereux pour la plupart;
- Déchets radioactifs;

- Déchets généraux non-infectieux (par ex. verre, papier, matériaux d'emballage, aliments).

Pour les besoins de ce document d'orientation, les définitions qui suivent sont tirées de la publication: *Technical Guidelines on the Environmentally Sound Management of Biomedical and Health-Care Waste* (Basel Convention Secretariat 2002).

2.1 Déchets de soins de santé infectieux³

Ces déchets contiennent divers objets mis au rebut, ou des équipements contaminés par le sang et ses dérivés, ainsi que d'autres liquides corporels ou d'excréments provenant de patients infectés ayant des maladies transmissibles dangereuses. Il y a également des déchets contaminés venant de patients connus pour avoir des infections du sang, traités par hémodialyse (c'est-à-dire, équipement de dialyse tel que tubes et filtres, linges jetables, tabliers, gants ou vêtements de laboratoire souillés par le sang); aussi des déchets de laboratoire (cultures et stocks avec tout type d'agents biologiques vivants, artificiellement cultivés à des nombres élevés, y compris la vaisselle et des appareils utilisés pour transférer, inoculer et mélanger des cultures mixtes d'agents infectieux, ainsi que des animaux de laboratoire infectés).

2.2 Déchets de soins de santé biologiques

Les déchets médicaux biologiques incluent toutes parties corporelles et autres déchets anatomiques comprenant le sang, les liquides biologiques et déchets pathologiques, qui sont clairement reconnaissables par le public ou par les équipes soignantes, et qui exigent pour des raisons d'éthique, des dispositions spéciales pour leur élimination

2.3 Objets pointus

Il s'agit de tous les déchets médicaux et biomédicaux avec des parties pointues ou coupantes, capables de blesser ou de percer la peau humaine. Tous les objets coupants ayant été au contact de patients infectés de maladies transmissibles, provenant de quartiers d'isolation, ou d'autres pièces pointues contaminées par les déchets de laboratoire cités plus haut, doivent être classés comme déchets infectieux.

3. Techniques alternatives pour des sources neuves et existantes

3.1 Sources neuves

En choisissant des méthodes de traitement pour les déchets venant des activités liées à la santé, il faut considérer en premier des procédés, techniques ou pratiques alternatifs qui sont autant utiles, mais qui évitent la formation et le rejet de produits chimiques inscrits à l'Annexe C.

A cause des coûts élevés des investissements, de fonctionnement, d'entretien et de suivi des incinérateurs de déchets utilisant les meilleures techniques disponibles, une opération économique et effective de l'installation est rarement atteinte, en particulier

dans le cas de petits incinérateurs d'hôpitaux. Ceci est illustré aussi par le fait que beaucoup de petites unités ont dû être fermées plutôt que d'être réhabilitées.

Donc dans bien des cas on peut préférer faire appel à une stérilisation à la vapeur sur le site et aussi à d'autres formes de traitements de déchets médicaux, qui n'impliquent pas l'incinération. Dans d'autres cas, des installations centralisées de traitement sont préférées à des traitements décentralisés sur site pour les déchets médicaux. Le traitement de déchets médicaux devrait donc faire partie intégrale du plan régional ou national de gestion des déchets.

3.2 Sources existantes

De nombreux petits incinérateurs d'hôpitaux existants ont des niveaux de conception, d'opération, d'équipement et d'entretien assez faibles, et on ne peut donc pas dire que ces installations utilisent les meilleures techniques disponibles. Un incinérateur de déchets médicaux, sans un équipement sophistiqué de réduction de la pollution, rejette une grande variété de polluants y compris des PCDD/PCDF, des métaux (plomb, mercure, cadmium), des particules fines, des gaz acides (HCl, (SO₂) du monoxyde de carbone (CO) et des oxydes d'azote (NOx). Ces émissions ont des conséquences négatives sur la santé du personnel, sur la santé publique et sur l'environnement.

Le coût pour la réhabilitation de vieilles installations est un point clef dans la problématique de la destruction des déchets médicaux. En évaluant les coûts d'une unité bien adaptée, les décideurs devront prendre en compte plusieurs facteurs tels que: le capital investi et les coûts opératoires de l'incinérateur, avec son système de lavage des gaz et d'autres appareils de contrôle de pollution; le coût d'une chambre secondaire modifiée pour les vieux incinérateurs; les coûts des tests périodiques des cheminées, des suivis en continu, de la formation et de la qualification des opérateurs; et les coûts de maintenance et de réparations, principalement ceux concernant l'état ou la défaillance des réfractaires.

En conséquence, la fermeture d'unités existantes inappropriées doit être considérée en même temps que l'introduction de techniques alternatives pour la destruction des déchets, ou de leur transfert vers des unités centralisées d'incinération municipales ou de déchets dangereux.

3.3 Techniques alternatives

Les techniques alternatives suivantes ne mènent pas à la formation et au rejet de substances chimiques inscrites à l'Annexe C, et on devrait donc leur donner une priorité en vue de l'élimination finale de déchets. Cependant, de certains points de vue, elles pourraient présenter des avantages et des inconvénients. Pour plus d'information sur ces techniques, voir: Basel Convention Secretariat, 2002.

Les méthodes suivantes conviennent aux déchets infectieux et biologiques, et aux objets piquants; elles sont largement utilisées.⁴ La mise en place d'un programme effectif de gestion de déchets, comme décrit à la sous-section 4 de la présente section, est essentiel pour toutes les techniques décrites ci-après. Les déchets chimiques dangereux, les déchets de chimiothérapie, les composés organiques volatiles, le mercure et les déchets radioactifs ne devraient pas être traités dans les systèmes décrits ici, car cela mènerait à un rejet de substances toxiques dans l'air, dans le condensât, ou dans les déchets traités.

Des techniques alternatives telles que la stérilisation, les micro-ondes, des traitements à l'alcali et des traitements biologiques nécessitent toujours une élimination finale en décharge sanitaire.

Les opérateurs devront recevoir une formation permettant de renforcer leurs compétences dans les domaines de la manipulation correcte des déchets, et de l'opération et de l'entretien de l'équipement. Un autre point concerne l'exposition potentielle au désinfectant chimique lui-même à la suite d'émissions fugitives, de déversements ou fuites accidentels de conteneurs de stockage, de rejets de l'unité de traitement, ou de produits chimiques qui se volatilisent à partir des déchets ou des effluents traités. On stocke parfois les désinfectants chimiques à l'état concentré, ce qui accroît encore les risques.

Comme les procédés chimiques nécessitent normalement un déchiquetage préalable, les rejets de pathogènes par des aérosols pourraient constituer un risque. Les technologies chimiques se font souvent en système clos ou sous dépression, avec l'envoi des gaz produits à travers des filtres HEPA (*High Efficiency Particulate Absorbing*) ou autres.

Les installations dans le domaine des soins de santé doivent prendre en compte les facteurs suivants, avant le choix d'une technologie qui ne fait pas appel à l'incinération (Health Care Without Harm Europe 2004):

- Acceptation réglementaire;
- Capacité de traitement;
- Nature des déchets à traiter;
- Efficacité de la désactivation microbiologique;
- Emissions vers l'environnement, et déchets résiduels;
- Besoins en espace;
- Besoins en énergie et autres besoins des installations;
- Réduction des déchets;
- Hygiène et sécurité du travail;
- Bruit;
- Odeurs;
- Automatisation;
- Fiabilité;
- Niveau de commercialisation;
- Réputation du producteur de la technologie ou du revendeur;
- Coût;
- Acceptation par la communauté et le personnel

3.3.1 Stérilisation à la vapeur

La stérilisation à la vapeur, ou par autoclave, consiste à exposer les déchets à la vapeur saturée sous pression dans un récipient ou autoclave. La technologie ne rend pas le déchet méconnaissable et ne réduit pas son volume, à moins que l'on n'utilise un broyeur ou un déchiqueteur. Si on n'effectue pas une ségrégation correcte à l'arrivée des déchets pour éviter que des produits chimiques dangereux (par ex. des produits antinéoplasiques ou métaux lourds comme le mercure) ne soient introduits dans la chambre de traitement, des contaminants toxiques seront rejetés dans l'air, dans le condensât ou dans les déchets traités. Des odeurs désagréables dues à de faibles concentrations d'alcools, phénols, aldéhydes et autres composés organiques peuvent être générées, mais peuvent être limitées grâce à un équipement adapté de traitement de l'air (par ex. avec des filtres de poussières et au carbone). Il serait utile de disposer de plus de résultats de tests indépendants sur les émissions provenant d'autoclaves fonctionnant dans des conditions représentatives.

Il existe un grand nombre d'autoclaves de différentes dimensions, qui vont de quelques kilos à plusieurs tonnes par cycle. Les coûts financiers sont relativement bas, comparés à d'autres techniques alternatives. Ces autoclaves doivent être inspectés au moins une fois par an, pour vérifier s'il n'y a pas eu de changements significatifs avec le temps de leurs profils temps/température, des relevés du niveau du vide et de la pression de vapeur.

Le cycle de traitement (minimum 121°C pendant 30 minutes) est déterminé par la capacité de la chaleur à pénétrer dans la masse de déchets. Certains types de configurations du déchet ou du chargement, qui créent des barrières au transfert de la chaleur, peuvent demander des temps d'exposition plus longs, et une température plus élevée. Le niveau correct de désinfection doit être contrôlé par des moyens appropriés (par ex. bandes de test, tests microbiologiques).

3.3.2 Systèmes avancés de stérilisation à la vapeur

Des autoclaves plus modernes, ou des systèmes avancés de stérilisation à la vapeur, combinent le traitement à la vapeur avec un prétraitement sous vide, et diverses sortes de traitements mécaniques, avant, pendant et après le passage à la vapeur. Beaucoup de ces systèmes avancés incluent aussi des systèmes de remplissage automatiques; un post-traitement vide/déshydratation; le refroidissement du déchet traité; et une filtration à haute efficacité des particules pour éliminer les odeurs.

Les systèmes avancés à déchiqueteurs et broyeurs intégrés sont capables de traiter les déchets contenant des aiguilles et autres objets pointus, ainsi que les déchets pathologiques, y compris les parties anatomiques. Les inconvénients sont des coûts d'investissement relativement plus élevés, la génération de bruit, et des coûts de maintenance plus importants pour les déchiqueteurs et autres appareils mécaniques.

Comme dans le cas de la stérilisation à la vapeur, les systèmes avancés de stérilisation à la vapeur nécessitent une ségrégation correcte des déchets pour éviter des rejets de substances dangereuses dans les différents milieux (voir la Figure 1 ci-dessous).

3.3.3 Traitement par micro-ondes

La désinfection par micro ondes est essentiellement un procédé basé aussi sur la vapeur, puisque la désinfection a lieu sous l'action de la chaleur humide et de la vapeur générée par l'énergie des micro-ondes. Des unités aux micro-ondes avec déchiqueteur interne peuvent traiter les déchets pathologiques, et sont couramment utilisées pour traiter les déchets avec objets pointus. Les inconvénients sont des coûts d'investissement relativement plus élevés, le bruit du déchiqueteur et la possibilité de mauvaises odeurs. Les odeurs désagréables contenant de faibles teneurs d'alcools, de phénol, d'aldéhydes et autres composés organiques peuvent être minimisées par des équipements adaptés pour le traitement de l'air (par ex. par des filtres pour poussières et du carbone).

3.3.4 Stérilisation à la chaleur sèche

Cette stérilisation à la chaleur sèche consiste à chauffer le déchet à une température pendant un temps suffisant pour assurer la stérilisation de la totalité du chargement de déchets. En règle générale, ce procédé emploie de plus hautes températures, et des temps d'exposition plus longs que les procédés basés sur la vapeur. On inclut normalement un déchiquetage interne (réduction des volumes des déchets). La technique est simple, automatisée, et facile d'emploi.

On ne doit pas traiter dans un système à chaleur sèche, certains produits comme des composés organiques volatiles et semi-volatiles, des déchets venant de la chimiothérapie, du mercure, d'autres déchets dangereux, et des déchets radiologiques. Des odeurs désagréables peuvent être produites qui seront éliminées par certains systèmes utilisant des filtres à particules ou des filtres au carbone. L'air chaud venant de la chambre est refroidi dans un laveur venturi qui enlève aussi les particules.

3.3.5 Hydrolyse alcaline

L'hydrolyse alcaline (ou la digestion alcaline à chaud) est un autre procédé chimique utilisé pour détruire les matières organiques. Ce procédé peut détruire les agents en vrac provenant de la chimiothérapie, le formaldéhyde, les fixatifs et autres produits chimiques toxiques. Un procédé classique utilise un récipient étanche en acier inoxydable dans lequel le déchet est mélangé à l'alcali puis chauffé entre 110° et 150°C. Selon la quantité de déchets, la concentration de l'alcali, et la température, le procédé de digestion peut durer de 3 à 8 heures. Les systèmes du commerce sont hautement automatisés. Par la suite, il peut être nécessaire de faire un traitement approprié des déchets et des liquides provenant de l'hydrolyse alcaline.

3.3.6 Traitement biologique

Ce type de traitement emploie des micro-organismes ou des produits biochimiques, pour décomposer le déchet. On peut utiliser des enzymes ou une digestion aérobie ou anaérobie. Le traitement sera effectué de préférence dans un système fermé. De mauvaises odeurs peuvent se produire lors du traitement anaérobie.

3.3.7 Décharges spécialement conçues (décharges techniques)

- (a) Déchets infectieux (c'est-à-dire, déchets provenant des activités de soins de santé, objets pointus, déchets anatomiques et pathologiques):

De tels déchets ne doivent pas être mis en décharge. Si on les stérilise cependant, on peut les considérer comme déchets non-infectieux et les envoyer à la décharge ou les traiter en conformité avec la Section V.A.(i) ci-dessus (sauf pour les objets pointus comme des seringues qui doivent être traités en fonction de leurs caractéristiques physiques).

- (b) Déchets chimiques, toxiques, et pharmaceutiques, ainsi que les déchets généraux:

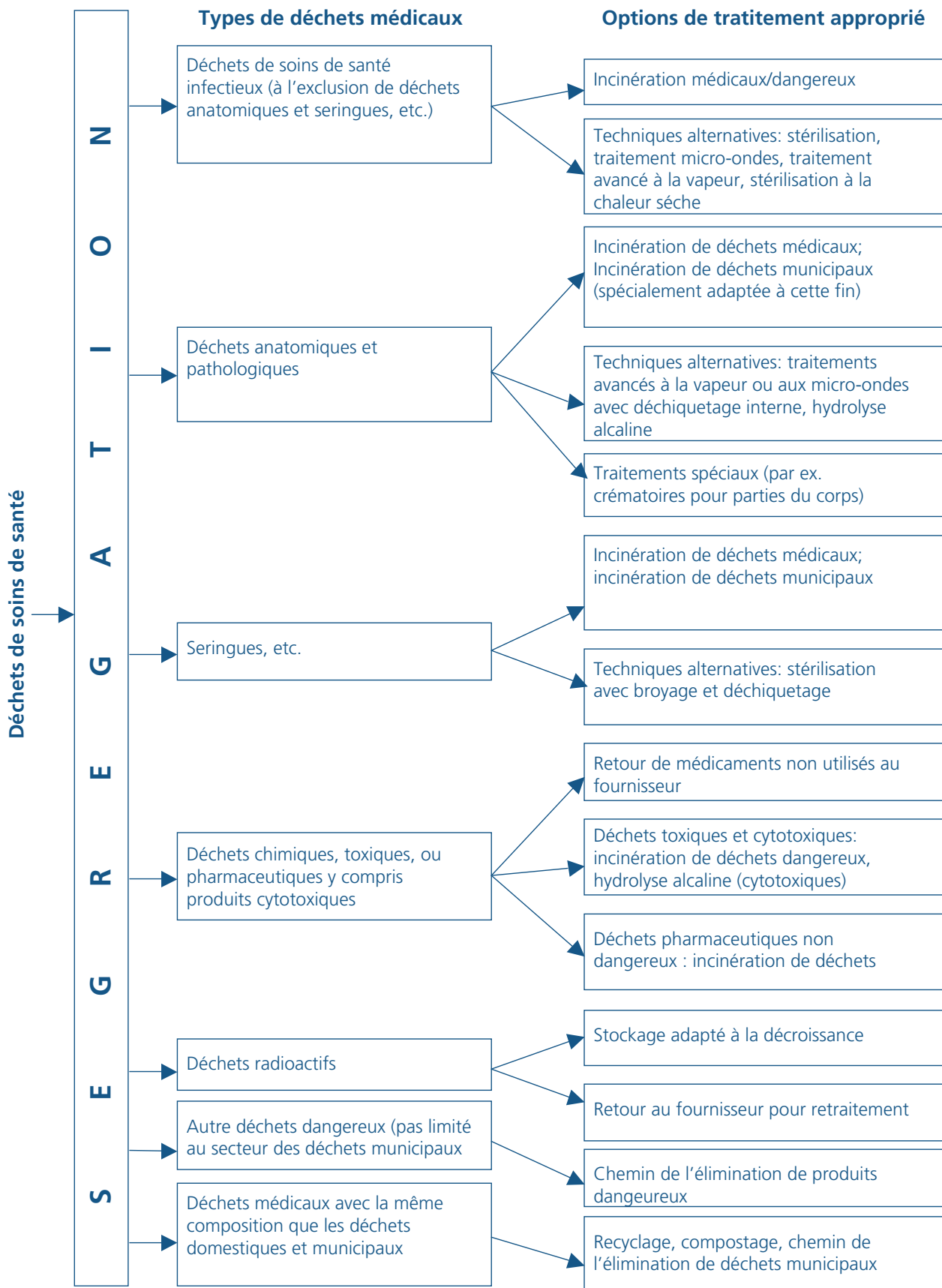
Une décharge spécialement conçue pourrait représenter une option pour de tels déchets, mais il faut faire très attention à leurs caractéristiques spécifiques, physiques et chimiques.

- (c) Déchets radioactifs:

Ce type de déchet ne doit pas être mis en décharge.

La Figure 1 (Basel Convention Secretariat 2002, chapitre 2, Figure 2, adaptée) montre dans quelles fractions de déchets on doit effectuer une ségrégation des déchets médicaux, et suggère des options de traitement pour ces fractions.

■ Figure 1. Ségrégation et options de traitement pour les déchets médicaux



4. Meilleures pratiques environnementales pour la gestion de déchets de soins de santé

Il faudrait que chaque hôpital mette au point un plan de gestion des déchets prévoyant une ségrégation et un traitement complets de ceux-ci. On peut ainsi réduire les coûts de l'élimination finale. Un plan de gestion de déchets d'un hôpital pourrait inclure aussi le traitement de fractions de déchets venant d'autres hôpitaux, afin de réduire les coûts et améliorer la performance globale de l'ensemble de la gestion des déchets.

- Les buts principaux de la gestion de déchets médicaux sont:
- Réduction du risque pour le personnel, le public en générale et l'environnement;
- Minimisation des quantités de déchets générés;
- Provisions pour la ségrégation et la séparation des déchets;
- Désignation des zones de dépôt de déchets dans les salles;
- Mise en place de voies sécurisées pour le transport des déchets;
- Mise en place d'une zone correcte et sécurisée pour le stockage temporaire;
- Traitement et élimination effectués de manière écologiquement rationnelle.

Dans le cadre de la Convention de Bâle sur le Contrôle des Mouvements Transfrontières et Elimination de Déchets Dangereux, il a été publié un document: *Technical Guidelines on the Environmentally Sound Management of Biomedical and Health-Care Waste* (Basel Convention Secretariat 2002). Il est fortement conseillé d'utiliser et d'appliquer ces directives qui fournissent des informations détaillées au sujet: des risques liés aux déchets médicaux, de la gestion sécurisée de déchets médicaux, de la ségrégation effective et la collecte de déchets, des méthodes de traitement et d'élimination et du renforcement des capacités.

Pour établir une gestion appropriée des déchets médicaux, il est nécessaire de:

- Caractériser la nature et les quantités des différentes fractions de déchets;
- Identifier les options pour éviter ou pour réduire la génération de déchets (politiques d'achat qui évite des emballages superflus, optimisation des tailles d'emballages, gestion des stocks, évaluation des procédures de travail, réutilisation des produits et d'équipement lorsque cela est possible et sans danger);
- Mettre en place des programmes de formation et de gestion pour assurer une bonne ségrégation et manipulation de déchets infectieux, toxiques et ordinaires;
- Définir des conteneurs appropriés pour le ramassage, le stockage et le transport;
- Fixer les responsabilités du personnel;
- Décrire les options de traitement approprié pour les différentes fractions de déchets;
- Prévoir une documentation et un contrôle appropriés pour l'élimination des déchets;

- Décrire le transport des fractions de déchet jusqu'à la destination d'élimination, ainsi que le type de traitement final;
- Calculer le coût pour les différentes activités.

Avant de procéder à un traitement et à une élimination efficaces et dans les règles de l'art, il est important de prendre en considération un certain nombre de pratiques. Les pratiques décrites ci-dessous peuvent être directement liées à la réduction des produits chimiques inscrits à l'Annexe C et à des actions pour éviter d'utiliser ceux-ci, mais elles représentent des principes généraux qui peuvent influencer sur la génération de fractions de déchets et contribuer à la sécurité du personnel, du public et de l'environnement.

Pour de plus amples informations, on trouvera des données détaillées au sujet de la gestion des déchets médicaux auprès de différentes sources (Basel Convention Secretariat 2002; WHO 2000; Health Care Without Harm Europe 2004). Dans ce présent document, seul un bref survol des meilleures pratiques courantes est présenté.

4.1 Réduction des sources

La réduction à la source veut dire la minimisation ou l'élimination de la génération de déchets à la source même. La réduction à la source devrait avoir une plus haute priorité que le recyclage ou la réutilisation. Il faudrait que le personnel médical, ceux responsables pour les déchets et les comités pour la normalisation des produits, soient au courant de la proportion des déchets à l'arrivée qui est générée par les produits qu'ils achètent. En fait, la participation étroite des équipes des achats est cruciale pour la réussite de tout plan visant à réduire les déchets. Des mesures devront être prises pour réduire à la source: les déchets médicaux réglementés, les déchets dangereux, les déchets à faible taux de radioactivité ainsi que les déchets normaux. Quelques techniques de réduction à la source sont (en tenant compte du fait que des produits alternatifs doivent répondre aux critères fixés en termes d'hygiène et de protection des patients):

- Elimination de matériaux, changement ou substitution du produit;
- Changement de technologie ou de procédé;
- Achat préférentiel;
- Bonnes pratiques de fonctionnement.

4.2 Ségrégation

Au dessus de tout, la ségrégation est la clef d'une gestion effective des déchets médicaux. Elle assure que les chemins d'élimination corrects sont respectés. Les déchets devraient être séparés en fonction des options de traitement proposées. Il faut que la ségrégation soit faite sous la supervision du producteur de déchets, et aussi proche que possible de la source, c'est-à-dire dans la salle d'hôpital, au bord du lit, dans la salle d'opération, au laboratoire, dans la salle d'accouchement, etc., et doit être effectuée par les personnes produisant le déchet (par exemple, l'infirmière, le médecin ou le spécialiste) afin de fixer le déchet immédiatement et d'éviter des tris secondaires dangereux.

4.3 Récupération et recyclage des ressources

Voici quelques exemples des options pour la récupération des matériaux dans les déchets, et pour leur réutilisation:

- Recyclage des journaux, emballages, papier de bureau, verre, cannettes en aluminium, débris de construction, et autres recyclables;
- Achat de produits fabriqués à partir de matériaux recyclés après utilisation;
- Compostage des déchets organiques alimentaires;
- Récupération de l'argent des substances photographiques.

4.4 Formation du personnel

Le personnel devra être complètement informé sur:

- Les risques liés aux déchets médicaux;
- La classification et les codes pour les différentes fractions des déchets et leurs critères de classification;
- Les coûts de traitement des déchets;
- Les procédés de gestion de déchets depuis la génération jusqu'à leur élimination;
- L'opération et l'entretien des installations de traitement de déchets;
- Les responsabilités;
- Les effets d'erreurs et de mauvaise gestion.

4.5 Ramassage à l'endroit de la génération des déchets

- Fournir des conteneurs avec codage couleur aux endroits de génération, ou proche, pour la ségrégation des différents types de déchets;
- Emballage correct des déchets: des conteneurs solides ou des sacs en plastique à l'intérieur d'un bac rigide ou semi-rigide, pour des déchets infectieux ne contenant pas de seringues ou d'objets coupants. Les sacs doivent être imperméables à l'humidité, et être suffisamment solides pour résister au déchirement, ou à l'éclatement lors d'une utilisation normale. Les conteneurs pour les objets piquants doivent être rigides, résistants au percement et étanches. Les conteneurs peuvent être recyclables (en métal ou en plastique que l'on peut traiter en autoclave) ou jetables (carton épais ou plastique). Les conteneurs pour objets pointus devront être munis d'un couvercle qui ferme;
- Etiquetage correct pour les conteneurs de déchets, par ex. comme étant infectieux ou cytotoxiques;
- Les conteneurs ne doivent pas être remplis au plus de trois quarts;

- Les déchets hautement infectieux, chaque fois que cela est possible, doivent être stérilisés immédiatement en autoclave. Il faut donc qu'ils soient emballés dans des sacs compatibles avec le procédé de traitement envisagé.

4.6 Transport au site de stockage intermédiaire

- Une fois les conteneurs primaires remplis, il faut les transporter vers un site de stockage intermédiaire;
- Etablir un site de stockage désigné suivant les recommandations de l'OMS, où l'accès ne sera permis que pour le personnel autorisé;
- Le personnel qui manipule les déchets doit porter des vêtements de protection (gants, chaussures) pendant le ramassage, le transport et le stockage;
- Routage et horaires clairs pour le transport;
- Aucune compaction de conteneurs contenant des objets pointus ou autres déchets infectieux ne doit être faite;
- Pas de tri manuel des fractions infectieuses des déchets.

5. Techniques appliquées pour l'incinération des déchets de soins de santé

5.1 Description de procédé

Les déchets médicaux ne doivent pas être éliminés par brûlage à l'air libre. L'incinération représente une méthode importante pour le traitement et la décontamination de déchets biomédicaux et médicaux. Cette sous-section donne des conseils sur l'incinération des fractions suivantes de déchets (majoritairement) dangereux: déchets de soins de santé infectieux, déchets provenant des activités biologiques et médicales, et les objets coupants.

L'incinération est un procédé sec d'oxydation à haute température (850°C à 1100°C) qui réduit les déchets organiques et combustibles en matières inorganiques, incombustibles et qui mène à une réduction significative en volume et en poids.

La pyrolyse est un procédé de chauffage lent (*smouldering* en anglais), par lequel la transformation s'effectue dans une atmosphère pauvre en oxygène, à une température entre 500 et 600°C.

L'incinération et la pyrolyse doivent être effectuées uniquement dans des installations qui sont bien conçues et bien entretenues. Le système devra être conçu pour tenir compte des caractéristiques particulières des déchets médicaux dangereux (teneur élevée en eaux, teneur élevée en plastiques). Puisque les technologies décrites ici sont assez sophistiquées, il ne faudrait incinérer dans ces installations que des fractions de déchet dangereux. D'autres déchets médicaux qui ressemblent plus aux déchets municipaux devront être séparés en avance, et faire l'objet d'autres technologies pour de traitement des déchets.

Si des déchets infectieux ne sont pas brûlés immédiatement (sous 48 heures), ils doivent être entreposés dans un local réfrigéré (10°C max). Les zones de travail et de stockage doivent être conçues pour faciliter la désinfection.

Une unité d'incinération est composée essentiellement des unités suivantes (Figure.2):

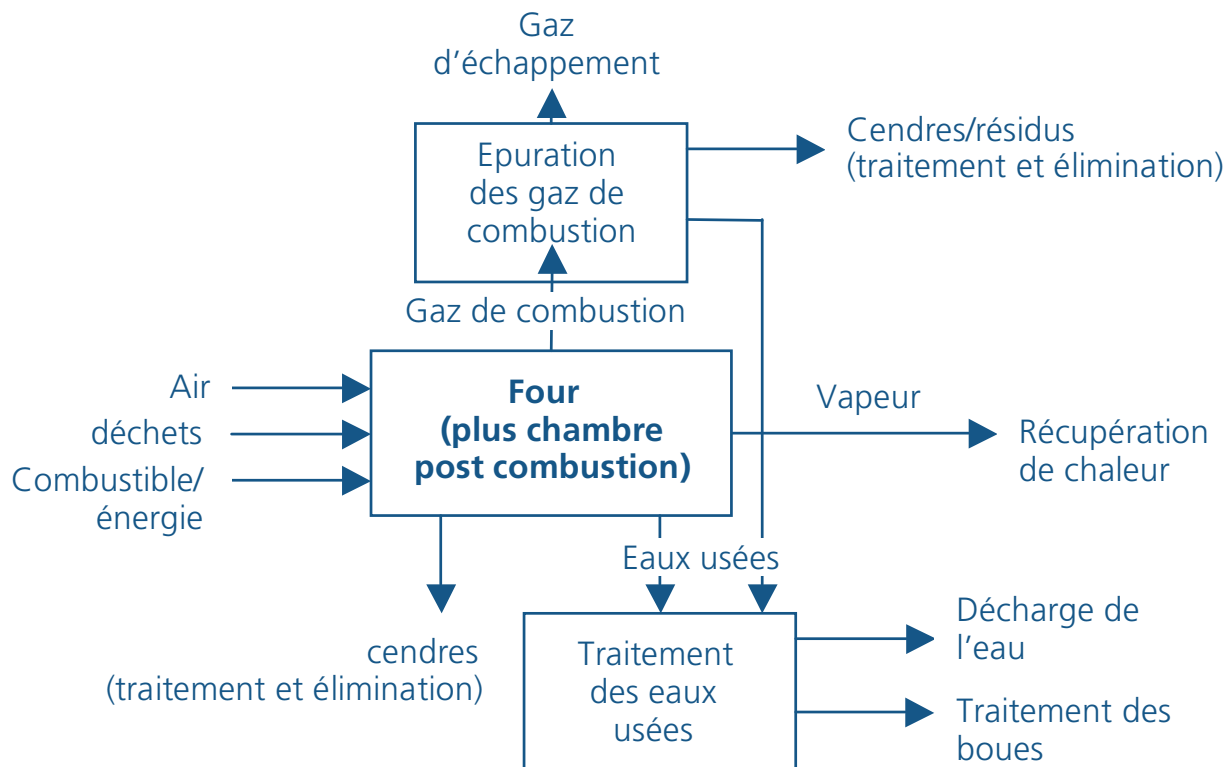
- Fourneau ou four;
- Chambre de post combustion;
- Dispositifs d'épuration des gaz: voie sèche, humide et/ou catalytique (y compris des techniques d'adsorption);
- Installation de traitement des eaux usées (dans le cas où des systèmes humides sont utilisés pour le traitement des gaz).

Les techniques suivantes sont considérées comme étant les meilleures techniques disponibles pour le traitement thermique des déchets médicaux:

- Traitement pyrolytique ou gazéification des déchets;
- Four rotatif;
- Incinérateur à grille spécialement adapté pour les déchets médicaux infectieux (ligne d'élimination de déchets municipaux);
- Incinérateur à lit fluidisé;
- Systèmes modulaires.

Les incinérateurs à chambres simples, à tonneaux, ou en briques ne sont pas considérés comme les meilleures techniques disponibles.

■ **Figure 2. Diagramme schématique simplifié d'un incinérateur**



5.2 Techniques de traitement thermique

5.2.1 Installations de pyrolyse

Les installations de pyrolyse, avec des chambres de post-combustion, sont généralement de petites unités qui opèrent en mode discontinu. Les déchets médicaux sont conditionnés dans des tonneaux ou des sacs, pour leur chargement. Les installations plus importantes sont équipées de machines de chargement automatiques. Dans les installations équipées de systèmes de dégazage ou de gazéification, les opérations de séchage, de dégazage et de gazéification ont lieu dans un réacteur avant la combustion.

Les déchets sont introduits de façon discontinue dans une chambre de vaporisation, qui est chauffée à une température suffisante pour pouvoir distiller les produits de la réaction. Les gaz quittant la chambre de distillation sont mélangés à un courant d'air continu dans la chambre de post-brûlage, et maintenus à une température de 900°C par une co-combustion, avec apport de gaz naturel. Les gaz de combustion quittant la chambre de post brûlage, sont refroidis dans une chaudière à eau chaude placée en aval, puis envoyés dans le système de lavage des gaz. La chaudière transforme l'eau en vapeur. Celle-ci peut être utilisée pour produire de l'électricité pouvant alimenter un hôpital, des habitations ou des bureaux. Pour assurer une combustion suffisante des cendres, des brûleurs à gaz sont mis en fonctionnement avant le déchargement de la chambre de distillation. Dans les petites unités, on peut utiliser un carburant auxiliaire pour compenser des fluctuations dans les débits et des variations dans les déchets qui sont brûlés.

Dans les installations à pyrolyse, le contenu en poussières dans les flux de gaz est faible, comparée aux systèmes conventionnels de combustion. Il y a cependant une forte nécessité pour des carburants additionnels, et par conséquent il se forme des volumes importants de gaz de combustion.

Les capacités de ces incinérateurs (traitement sur site) sont typiquement de 200 kg à 10 tonnes/jour.

5.2.2 Four rotatif

Une autre technologie employée est celle du four rotatif (voir aussi section V.A (i), sous section 2.2 du présent guide). La combustion de déchets de soins de santé peut être réalisée dans de petits fours rotatifs (par ex. dans l'hôpital), ou, de manière plus courante, dans des installations plus grandes qui assurent le traitement de plusieurs fractions dangereuses de déchets.

Les déchets sont manipulés à l'aide d'une grue à pinces dans le silo, puis déversés sur un plan incliné qui débouche devant la chambre à brûler. Dans la plupart des cas, il y a un caniveau d'entrée intégré dans une chute, d'où les déchets peuvent être introduits dans le four rotatif. Les déchets liquides et très visqueux peuvent être versés par la partie avant du four rotatif. Du fait de la rotation et de l'inclinaison du four, les déchets sont transportés et agités, ce qui permet un contact intime avec l'air primaire qui circule dans le four. A l'opposé des fours à grilles, les fours rotatifs opèrent en système fermé. De ce fait, on peut y traiter des liquides et des matières visqueuses. Les gaz venant du four rotatif sont traités dans une chambre de post combustion. Pour assurer les hautes températures nécessaires à la destruction complète des composés organiques (de 850°C à 1100°C, selon le déchet), les chambres de post-combustion sont équipées de brûleurs qui démarrent automatiquement si la température tombe en dessous de la valeur donnée.

A la fin du passage dans le four rotatif, des scories se forment, soit frittées, soit fondues. En les faisant tomber dans l'unité de désagrégation des scories, des scories granulées sont produites. Lorsque ce matériau est fritté, cette partie de l'installation est semblable à celle des systèmes de foyer à grille. Les fours rotatifs et les chambres de post-combustion sont, dans la plupart des cas, construits comme des chambres de combustion adiabatiques, revêtues de céramiques. Après la chambre de combustion, les gaz passent dans une zone de vide jusqu'à ce qu'une température d'environ 700°C soit atteinte. Plus loin, des faisceaux de chauffe, tels que des évaporateurs, des serpentins de surchauffe, et des unités de préchauffage pour l'eau d'alimentation, sont installés. La chaudière chauffée par la chaleur perdue, ainsi que le système d'approvisionnement en énergie, sont comparables aux systèmes de brûlage sur grille.

Les capacités des incinérateurs sont de 0,5 à 3 tonnes par heure (pour l'incinération de déchets médicaux).

5.2.3 Incinérateur à grille

L'incinération de déchets de soins de santé, dans des incinérateurs municipaux, demande des adaptations spéciales. Si des déchets médicaux infectieux doivent être brûlés dans un incinérateur de déchets municipaux, ils doivent être désinfectés et

stérilisés, avant d'être introduits dans l'incinérateur, dans des conteneurs appropriés, puis chargés automatiquement. Il faut éviter auparavant de faire des mélanges de déchets infectieux avec d'autres types de déchets, et aussi de faire des manipulations manuelles. Voir la section V.A (i) du présent guide pour des informations complémentaires sur l'incinération des déchets municipaux.

5.2.4 Incinérateur à lit fluidisé

Les incinérateurs à lit fluidisé sont largement utilisés pour l'incinération des déchets finement divisés tels que les combustibles dérivés de déchets, et les boues d'épuration. La méthode est utilisée depuis des dizaines d'années, principalement pour la combustion de combustibles homogènes. L'incinérateur à lit fluidisé est une chambre de combustion revêtue, en forme de cylindre vertical. Dans la partie inférieure, un lit de matière inerte (par ex. du sable ou des cendres) placée sur une grille ou une plaque de distribution, est fluidisé par de l'air. Le déchet à incinérer est approvisionné en continu dans le lit fluidisé de sable, à partir du haut, ou par le côté.

De l'air préchauffé est introduit dans la chambre de combustion par des ouvertures faites dans la plaque de fond, formant avec le sable contenu dans la chambre de combustion, le lit fluidisé. Le déchet est introduit dans le réacteur par une pompe, un carrousel ou une vis sans fin. Le séchage, la volatilisation, la mise à feu et la combustion ont lieu dans le lit fluidisé. La température, dans l'espace surplombant le lit, est généralement entre 850 et 950°C. Au dessus de la matière du lit fluidisé, un tablier est conçu pour permettre la rétention des gaz dans la zone de combustion. Dans le lit même, la température est plus basse, et peut se situer aux alentours de 650°C. En raison du bon mélange dans le réacteur, les systèmes d'incinération à lit fluidisé bénéficient d'une distribution uniforme des températures et de l'oxygène, ce qui permet un fonctionnement bien stabilisé. Pour les déchets hétérogènes, la combustion en lit fluidisé exige des étapes préparatoires, de telle manière que les déchets soient conformes aux spécifications dimensionnelles. Pour certains déchets, cette préparation peut être la combinaison d'une collecte sélective ou d'un prétraitement des déchets, tel que le déchiquetage. Certains types de lits fluidisés (par ex. le lit fluidisé rotatif) peuvent recevoir des déchets de dimension plus importante que les autres. Lorsque c'est le cas, il sera suffisant de faire une réduction sommaire de la taille des morceaux, ou peut-être pas du tout.

5.2.5 Systèmes modulaires

Les systèmes modulaires sont un type général d'incinérateurs (de déchets solides municipaux) largement utilisés aux Etats Unis, en Europe et en Asie. Les incinérateurs modulaires consistent en deux chambres de combustion montées verticalement (une chambre primaire, une autre secondaire). Les configurations modulaires autorisent des capacités classiques allant de 1 à 270 tonnes par jour. Il existe deux types majeurs de systèmes modulaires, fonctionnant avec un excès, ou un défaut d'air:

- Le système modulaire à excès d'air consiste d'une chambre primaire et d'une autre secondaire, les deux fonctionnant à des niveaux d'air en excès des besoins stoechiométriques (c'est à dire, 100–250% d'air en excès);

- Dans le système modulaire à défaut d'air (ou à air contrôlé), on fournit l'air dans la chambre primaire à des niveaux sous-stoechiométriques. Les produits de la combustion incomplète sont entraînés par les gaz formés dans la première chambre, puis passent dans la seconde. Un excès d'air est ajouté dans la deuxième chambre, et la combustion est achevée par les températures élevées, obtenues par un combustible auxiliaire (généralement du gaz naturel). La haute température uniforme de la chambre secondaire, combinée avec le mélange turbulent des gaz de combustion, permet d'atteindre de faibles niveaux de formation et de rejet, pour les poussières et pour les contaminants organiques.

5.3 Lavage des gaz de combustion

Les gaz de combustion venant des incinérateurs contiennent des cendres volantes (particules très fines) contaminées par des métaux lourds, des PCDD/PCDF, des composés organiques résistants à la chaleur, et des gaz tels que les oxydes d'azote, les oxydes de soufre, les oxydes de carbone, et les halogénures d'hydrogène. Les gaz de combustion résultant de modes de fonctionnement non contrôlés (sans lavage des gaz) contiendraient environ 2000 ng TEQ/m³ (UNEP 2005)⁵.

Des mesures appropriées pour l'épuration des gaz doivent être associées de manière adaptée, pour assurer l'application des meilleures techniques disponibles (voir section III.C (iv) et aussi V.A. (i) 6.4 des présentes directives).

5.4 Traitement des cendres résiduelles et volantes; traitement des eaux usées

Les fractions les plus importantes des déchets sont les cendres volantes, les scories, les gâteaux de filtration venant des traitements des eaux usées, le gypse et le charbon actif chargé. Ces déchets sont en majorité dangereux et doivent être éliminés dans des décharges sécurisées. La mise en décharge dans des conteneurs à double paroi, la solidification et les post traitements thermiques sont les méthodes les plus courantes (voir aussi section V.A (i), sous-section 5 des présentes directives).

6. Meilleures techniques disponibles et résumé des meilleures pratiques environnementales

En plus des meilleures pratiques environnementales pour l'incinération des déchets médicaux, il existe plusieurs technologies éprouvées pour l'ingénierie de la combustion, le lavage des gaz et la gestion des résidus qui peuvent éviter la formation des substances inscrites à l'Annexe C ou pour les minimiser. Pour une analyse détaillée de ce qui représente les meilleures techniques disponibles pour l'incinération des déchets, consulter le Document de Référence BAT (BREF) sur l'incinération des déchets (European Commission 2006).

Il existe aussi des options de destruction ne faisant pas appel à l'incinération (voir section III.C (ii) du présent document) qui pourraient représenter des alternatives fiables et écologiquement rationnelles à l'incinération. Le but de cette sous-section est cependant

d'identifier les meilleures techniques disponibles pour le procédé d'incinération. Les meilleures techniques disponibles pour l'incinération comprennent la conception, l'opération et l'entretien d'une unité d'incinération de déchets qui effectivement minimise la formation et le rejet de substances inscrites à l'Annexe C.

En considérant les meilleures techniques disponibles, décrites ici pour l'incinération des déchets, il est important de se rappeler que la solution optimale pour un type particulier d'installation d'incinération va dépendre des conditions locales. On ne présente pas ici les meilleures techniques disponibles comme étant la meilleure solution locale, car ceci supposerait de prendre en compte les conditions locales à un degré que l'on ne pas faire dans un document traitant des meilleures techniques disponibles d'une manière générale. Il est donc peu probable qu'une simple combinaison d'éléments individuels décrits ici comme des meilleures techniques disponibles, sans considérations des conditions locales, puisse fournir une solution locale optimisée, par rapport à l'environnement dans son ensemble (European Commission 2006).

L'utilisation des meilleures techniques disponibles pour les incinérateurs mènera aussi à une réduction des émissions d'acide chlorhydrique et des métaux (en particulier le mercure). Un traitement approprié des scories et résidus provenant des systèmes de lavage des gaz est essentiel pour la réduction des rejets des PCDD/PCDF vers l'environnement; il permettra aussi de réduire les rejets ultérieurs venant des résidus envoyés en décharge.

Concernant l'incinération, les mesures primaires seules réduiront de manière significative les émissions des substances inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm. La mise en place des meilleures techniques disponibles nécessitera cependant des mesures à la fois primaires et secondaires. Avec une combinaison appropriée de mesures primaires et secondaires, des niveaux de performance pour les émissions des PCDD/PCDF inférieurs à 0,1 ng I-TEQ/Nm³ (à 11% O₂) sont associés aux meilleures techniques disponibles. Il faut aussi noter que dans des conditions opératoires normales, des émissions plus faibles peuvent être atteintes dans le cas d'une unité d'incinération de déchets bien conçue.

Les meilleures techniques disponibles pour les décharges d'eaux usées des unités de traitement des gaz recevant des effluents d'unités de lavage des gaz, sont associés à des niveaux de concentrations de PCDD/PCDF bien inférieurs à 0,1 ng I-TEQ/l.

On présente dans les tableaux ci-dessous un résumé de ce qui constitue les meilleures pratiques environnementales et les meilleures techniques disponibles pour l'incinération des déchets médicaux.

■ Tableau 1. Conseils généraux

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Séparation des déchets	Classification claire, séparation à la source des déchets de soins de santé d'autres déchets, et à l'intérieur de la catégorie des déchets de soins de santé, afin de minimiser le volume de déchets à traiter		Peut être efficace rapidement pour la réduction de substances inscrites à l'Annexe C, mais fait partie d'un concept intégré pour la gestion des déchets
Procédés alternatifs	En particulier, si l'exigence de performance ne peut être atteinte dans l'installation existante ou projetée, la priorité doit être donnée aux procédés ayant des impacts potentiellement plus faibles sur l'environnement, que l'incinération des déchets	Les procédés alternatifs pour l'incinération de déchets médicaux infectieux comprennent: <ul style="list-style-type: none"> - Stérilisation à la vapeur - Stérilisation vapeur avancée - Traitement micro-ondes - Stérilisation par chaleur sèche - Traitement biologique - Hydrolyse alcaline - Mise en décharge 	

■ Tableau 2. Incinération des déchets de soins de santé: techniques de combustion représentant les meilleurs techniques disponibles

Technologie	Considérations	Autres commentaires
Four à pyrolyse	Adapté pour installations plus petites (200 kg/jour à 10 t/jour), traitement sur site	Coûts d'investissement et de maintenance élevés, nécessité d'un personnel bien qualifié
Four rotatif	Adapté pour les usines de taille moyenne (0,5–3 t/h)	Utilisation d'eau de refroidissement pour fours rotatifs, coûts d'investissement et de maintenance élevés, nécessité d'un personnel bien qualifié, consommation d'énergie élevée
Incinérateur à grille (incinérateur de déchets municipaux)		Utilisation d'eau pour refroidir les grilles, l'incinération dans les incinérateurs de déchets municipaux nécessite des adaptations spéciales pour déchets médicaux (par ex. chargement automatisé), pas de mélange préalable ni manipulation de déchets infectieux
Incinérateur à lit fluidisé		
Systèmes modulaires	Capacités de 1 à 270 t/jour	

■ Tableau 3. Incinération de déchets de soins de santé: Mesures générales

Options de gestion	Caractéristiques des déchets	Autres considérations
Ne pas brûler des déchets à moins que des mesures spécifiques aient été prises pour la réduction des substances inscrites à l'Annexe C (à la fois primaires et secondaires, suivant les besoins; voir les Tableaux 5 et 6)	Rejets possibles de composés de l'Annexe C, plus de métaux volatiles	Faire attention à la présence possible d'halogènes dans les déchets; prendre des mesures primaires et secondaires appropriées (voir les Tableaux 5 et 6). Faire attention de la présence possible de métaux lourds dans les déchets et prendre les mesures secondaires appropriées (voir Tableau 6).
Transport, stockage et sécurité appropriés pour les déchets médicaux, selon les besoins de chaque type de déchet	Pas réellement efficace pour la réduction des substances de l'Annexe C, mais fait partie du concept de gestion intégrée des déchets	
Emplacement du site: des unités centralisées d'incinération seront préférées à des sites dispersés pour chaque hôpital, pour le traitement des déchets médicaux		
Incinération de déchets médicaux uniquement en site dédié, ou dans incinérateurs plus grands pour déchets dangereux		Les caractéristiques des déchets médicaux (teneurs importantes en eau et plastiques) nécessitent des équipements spéciaux
Si un incinérateur dédié aux déchets médicaux n'est pas utilisé, un système de chargement séparé doit être prévu pour les déchets infectieux	Pas directement efficace pour la réduction des substances inscrites à l'Annexe C, mais fait partie intégrale d'un concept pour la gestion des déchets	
Ne pas brûler les déchets radioactifs	Pas efficace pour la réduction des substances chimiques inscrites à l'Annexe C	

■ Tableau 4. Incinération des déchets de soins de santé: Mesures organisationnelles

Mesure	Considérations
<ul style="list-style-type: none"> • Personnel bien formé • Fonctionnement et suivi de l'incinérateur assurés par des travaux d'entretien périodiques (nettoyage de la chambre de combustion, débouchage des entrées d'air et des brûleurs, le personnel doit porter un habillement de protection) • Mesures régulières et/ou en continu des polluants en question • Mise en place d'un suivi environnemental (établissement de protocoles pour un suivi normalisé) • Développement et mise en place de systèmes d'audit et de reportage • Infrastructure générale, carrelage, ventilation • Estimation de l'impact environnemental, réunions publiques avec avis de la communauté avant de choisir le site de nouveaux incinérateurs 	<p>L'opération d'un incinérateur exige des opérateurs qualifiés. Il faut se rappeler que ceux-ci devront être disponibles pendant la totalité de la période de fonctionnement de l'incinérateur (généralement 20 ans et plus). On devrait vérifier que l'on puisse identifier de tels opérateurs dans certaines régions avant d'acheter des incinérateurs à technologie avancée. Si cette main d'oeuvre qualifiée n'est pas disponible, les établissements concernés par les déchets médicaux devraient se tourner vers d'autres technologies alternatives de désinfection, ou sous-traiter à une installation de la région.</p> <p>De la même manière, il faudrait signer des contrats de longue durée au sujet des questions de maintenance et de réparation, de modifications (si nécessaires), et du traitement final et élimination des résidus solides générés par l'incinération.</p>

■ Tableau 5. Mesure primaires et optimisation des procédés pour la réduction des émissions de PCDD/PCDF

Options de gestion pour l'optimisation des conditions de combustion	Autres considérations
Introduction des déchets dans la chambre combustion uniquement à 850°C; les unités devraient posséder, et faire fonctionner, des systèmes automatisés pour empêcher que les déchets n'entrent avant que la température correcte soit atteinte	Modification (amélioration) nécessaire de l'ensemble du procédé
Installation de brûleurs auxiliaires (pour les mises en marche et l'arrêt)	
En général, éviter les mises en route et les arrêts de l'incinérateur	
Eviter les températures en dessous de 850°C, ainsi que les zones froides dans les flux gazeux	
Taux d'oxygène suffisants; le contrôle de son débit dépendra du pouvoir calorifique et de la régularité de composition des déchets entrants	Pour une teneur en oxygène de 6% en volume
Temps de résidence suffisant (2 sec. au moins) dans une chambre de combustion secondaire après la dernière injection d'air et des températures au dessus de 850°C (1100°C pour des déchets hautement chlorés, c'est-à-dire des déchets contenant plus de 1% de substances organiques chlorées) et 6% d'O ₂	Un temps de résidence suffisant est nécessaire, en particulier à cause de la teneur en eau et en plastique du déchet
Haute turbulence des gaz de combustion et réduction de l'excès d'air: par ex. injection d'air secondaire ou réinjection des gaz de combustion, préchauffage des flux d'air, contrôle des débits d'air à l'entrée	Une optimisation des entrées d'air contribue à des températures plus élevées
Mesures (en ligne) pour contrôler la combustion (température, teneur en oxygène, CO, poussières), contrôle et régulation de l'incinération à partir d'une console centrale	

■ **Tableau 6. Mesures secondaires**

Options de gestion	Caractéristiques des rejets	Applicabilité	Autres considérations
Dépoussiérage			
Eviter les dépôts de particules à l'aide de nettoyeurs de suie, de racleurs mécaniques, de souffleurs soniques ou à la vapeur, nettoyage fréquent des endroits par où passent les gaz de combustion dans la gamme de températures critiques			Les souffleurs à vapeur pour enlever les suies peuvent augmenter les taux de formation des PCDD/PCDF
Extraction efficace des poussières à l'aide des mesures suivantes:	<10 % d'émission résiduelle, en comparaison au mode non contrôlé	Moyenne	Extraction des PCDD/PCDF adsorbés sur des particules
Filtres en tissu	1–0,1% d'émission résiduelle	Plus élevée	Utilisation à des températures <260°C (selon la matière)
Filtres en céramique			Technique émergente; utilisation à des températures de 800°–1000°C, pas courants pour les incinérateurs de déchets
Cyclones (uniquement pour le pré-nettoyage des gaz de combustion)	Faible efficacité	Moyenne	Efficace seulement pour les particules plus grosses
Electrofiltre	Efficacité moyenne		Utilisation à des températures de 450°C; peut favoriser la synthèse <i>de novo</i> de PCDD/PCDF, faible efficacité pour les particules fines, émission de NO _x plus grandes, réduction de la récupération
Unité d'adsorption à haute performance avec ajout de particules de charbon actif (venturi électrodynamique)			Pour l'extraction des poussières fines

Options de gestion	Caractéristiques des rejets	Applicabilité	Autres considérations
Réduction des émissions de produits chimiques inscrits à l'Annexe C, par:			
Oxydation catalytique	Haute efficacité (<0,1 ng TEQ/m ³)	Investissements élevés, faibles coûts opératoires	Seulement pour les composés gazeux, extraction préalable des métaux lourds et des poussières est nécessaire, réduction additionnelle de NO _x si NH ₃ est ajouté; exige beaucoup de place, catalyseurs peuvent être retraités par le fabricant dans la plupart des cas, surchauffe lorsqu'un excès de CO présent, consommation d'énergie plus élevée à cause du réchauffement des gaz de combustion; pas de résidus solides
Trempe des gaz			Pas courant dans les incinérateurs de déchets
Filtre en tissu, revêtu d'un catalyseur	Haute efficacité (<0,1 ng TEQ/m ³)		Par ex. fabriqué en PTFE, avec un dépeussierage en parallèle, contamination plus faible des poussières des filtres à cause de la destruction des PCDD/PCDF à la surface catalytique
Diverses méthodes d'adsorption humides et sèches avec des mélanges de charbon actif, de coke de four à creuset, solutions de chaux et de calcaire dans des réacteurs fixes, à lit mobile et à lit fluidisé:			
Réacteur à lit fixe, adsorption avec charbon actif, ou coke de four à creuset	<0,1 ng TEQ/m ³	Investissement élevé, coûts opératoires moyens	Besoin élevé en espace, nécessité d'éliminer les résidus solides venant du lavage des gaz (= déchet dangereux), contrôle continu du CO nécessaire, augmentation des émissions de poussières due à une agrégation possible avec les particules de charbon, consommation de coke de four à creuset de 2 à 5 fois plus élevée par rapport au charbon actif, possibilité d'incinération de l'agent d'adsorption usagé dans l'unité, risque d'incendie et d'explosion

Options de gestion	Caractéristiques des rejets	Applicabilité	Autres considérations
Réacteur à flux entraîné ou à lit fluidisé en circulation, avec addition de charbon actif/chaux ou calcaire puis filtre en tissu	<0,1 ng TEQ/m ³	Investissement faible, coûts opératoires moyens	Pas courant pour les unités brûlant uniquement des déchets médicaux, nécessité d'éliminer les résidus solides venant du lavage des gaz (= déchet dangereux), risque d'incendie et d'explosion
<p>Traitements appropriés pour les cendres volantes et résiduelles, ainsi que pour les eaux usées:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Elimination dans des décharges sécurisées (par ex. élimination souterraine) - Traitement catalytique des poussières venant des filtres en tissu dans des conditions de températures faibles et d'insuffisance d'oxygène - Extraction des poussières de filtres en tissu par le procédé 3-R (extraction de métaux lourds par des acides) - Combustion pour détruire les matières organiques (par ex. four rotatif, Hagenmeier-Trommel) suivie d'un lavage avec filtre tissu en aval, système d'épuration des gaz - Vitrification des poussières venant des filtres en tissu ou d'autres méthodes d'immobilisation (par ex. solidification avec du ciment) suivie de mise en décharge - Application de la technologie au plasma (technique émergente) 			<p>Les boues issues du traitement des eaux usées et du refroidissement de cendres volantes, sont des déchets dangereux</p> <p>Les gaz de combustion peuvent être réinjectés dans la chambre de combustion de l'incinérateur</p>

7. Niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles

En utilisant une combinaison adaptée de mesures primaires et secondaires, des niveaux de performance pour émissions dans l'air des PCDD/PCDF inférieurs 0,1 ng I-TEQ/Nm³ (à 11% d'O₂) sont associés aux meilleures techniques disponibles. On peut encore noter que dans des conditions normales de fonctionnement, des émissions plus faibles que ceux-ci peuvent être atteints dans une installation d'incinération de déchets bien conçue.

Les meilleures techniques disponibles pour le rejet d'eaux usées venant des unités de traitement des effluents, recevant des effluents des installations de lavage des gaz de combustion, sont associées à des niveaux de concentration de PCDD/PCDF bien inférieurs à 0,1 ng I-TEQ/l.

Références

Basel Convention Secretariat. 2002. *Technical Guidelines on the Environmentally Sound Management of Biomedical and Health-Care Waste*. Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal, UNEP, Geneva.

Health Care Without Harm. 2001. *Non-Incineration Medical Waste Treatment Technologies*. Chapter 11. Health Care Without Harm, Washington, D.C. www.noharm.org/nonincineration.
Health Care Without Harm Europe. 2004. *Non-Incineration Medical Waste Treatment Technologies in Europe*. www.noharm.org.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2005. *Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases*. UNEP, Geneva.
www.pops.int/documents/guidance/Toolkit_2005.pdf.

WHO (World Health Organization). 1999. *Safe Management of Wastes from Health Care Activities*. WHO, Geneva.

WHO (World Health Organization). 2004 *Safe health-care waste management; Policy Paper*

UNEP (United Nations Environment Programme). 2005 *Basel Convention Technical Guidelines: General technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants (POPs)*.

Autres sources

CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). 2001. *Canada-Wide Standards for Dioxins and Furans for Incineration*. CCME, Winnipeg.
www.ccme.ca/initiatives/standards.html?category_id=50#23.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 1997. *Standards of Performance for New Stationary Sources and Emission Guidelines for Existing Sources: Hospital/Medical/Infectious Waste Incinerators: Final Rule*. 40 CFR Part 60. EPA, Washington, D.C.
www.epa.gov/fedrgstr/EPA-AIR/1997/September/Day-15/a23835.htm.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 2000. *Federal Plan Requirements for Hospital/Medical/Infectious Waste Incinerators Constructed on or before June 20, 1996: Final*

Rule. 40 CFR Part 62. EPA, Washington, D.C.

www.epa.gov/fedrgstr/EPA-AIR/2000/August/Day-15/a20341.htm.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 2004. *National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Proposed Standards for Hazardous Air Pollutants for Hazardous Waste Combustors*. Draft. EPA, Washington, D.C. www.epa.gov/fedrgstr.

European Commission. 2000. «Directive 2000/76/EC on the Incineration of Waste.» *Official Journal of the European Communities* L332:91.

European Commission. 2006. *Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm.

Giroletti E. and Lodola L. 1993. *Waste Treatment and Management*. Medical Waste Treatment: ISPRA courses. unipv.it/webgiro/ricerch/Public/ISPRA93-medicalWaste.pdf.

Institute for Environmental Medicine and Hospital Hygiene. 2000. «Practical Guide for Optimising the Disposal of Hospital Waste: Reduction and Utilisation of Hospital Waste, with the Focus on Hazardous, Toxic and Infectious Waste.» *LIFE96ENV/D/10*. University Clinical Centre, Freiburg.

Stubenvoll J., Böhmer S. et al. 2002. *State of the Art for Waste Incineration Plants*.

Umweltbundesamt, Vienna.

www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/industrie/pdfs/english_version.pdf.

UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). 1998. *Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution on Persistent Organic Pollutants*. New York and Geneva. www.unece.org/env/lrtap/full%20text/1998.POPs.e.pdf.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2005. *Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases Edition 2.1*. UNEP, Geneva.

www.chem.unep.ch/pops/pcdd_activities/toolkit/Toolkit%202-%20version/Toolkit-2005_2-1_en.pdf.

- ¹ A noter, les exigences de la Convention de Bâle sur les Mouvements Transfrontières de Déchets Dangereux et Leur Elimination, au sujet du transport de déchets dangereux.
- ² Des informations complémentaires sur une comparaison de techniques d'incinération en fonction des types de fours se trouvent à l'Annexe 1
- ³ L'interprétation de la définition des déchets médicaux varie selon les appréciations, politiques et règles nationales. Les organisations internationales (OMS, Nations Unies, etc...) ont des interprétations spécifiques de la définition. La nature infectieuse est l'une des caractéristiques inscrite à l'Annexe III de la Convention de Bale; elle est définie dans la classe H6.2.
- ⁴ Des données sur les coûts des diverses techniques paraissent dans le document *Non-Incineration Medical Waste Treatment Technologies*, chapitre 11 (Health Care Without Harm 2001).
- ⁵ 1 ng (nanogramme) = 1×10^{-12} kilogramme (1×10^{-9} gramme); Nm³ = mètre cube normal, volume de gaz sec mesuré à 0°C et 101,3 kPa. Pour des informations sur les mesures de toxicité, voir section I.C., sous-section 3 de ce document.



<http://www.pops.int>

UNEP/SSC/BATBEP/2008/2

Section V.I.M.
Section V.I.L.
Section V.I.K.
Section V.I.J.
Section V.I.I.
Section V.I.H.
Section V.I.G.
Section V.I.F.
Section V.I.E.
Section V.I.D.
Section V.I.C.
Section V.I.B.
Section V.I.A.
Section V.D.
Section V.C.
Section V.B.
Section V.A.
Sections I-IV

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

**Le brûlage de déchets dangereux
dans les fours à ciment**



Le contenu de cette publication peut être reproduit à des fins éducatives ou sans but lucratif, dans son intégralité ou en partie, quelque soit le format, sans autre permission spéciale, pourvu que la source soit parfaitement identifiée. Le Secrétariat de la Convention de Stockholm et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) souhaiteraient recevoir une copie de tout ouvrage utilisant cette publication comme référence. Cette publication ne peut faire l'objet de revente ou toute autre activité commerciale sans l'accord préalable et par écrit du PNUE.

Publiée par le Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en octobre 2008. Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser au:

Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Genève, Suisse
ssc@pops.int - www.pops.int

Mise en page et impression par: SRO-Kundig - Genève

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

T A B L E D E S M A T I È R E S

SECTION I: INTRODUCTION

- I.A** OBJECTIF
- I.B** STRUCTURE DU DOCUMENT ET UTILISATION DES DIRECTIVES ET CONSEILS
- I.C** PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C: DÉFINITIONS, RISQUES, TOXICITÉ
- I.D** ARTICLE 5 ET L'ANNEXE C DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- I.E** LIEN AVEC LA CONVENTION DE BÂLE
- I.F** LIEN AVEC D'AUTRES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

SECTION II: CONSIDÉRATIONS D'ALTERNATIVES DANS L'APPLICATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

- II.A** CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES DANS LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- II.B** LA CONVENTION DE STOCKHOLM ET LES SOURCES NOUVELLES
- II.C** UNE APPROCHE À LA CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES
- II.D** AUTRES CONSIDÉRATIONS DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM

SECTION III: MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES: DIRECTIVES, PRINCIPES ET CONSIDÉRATIONS CROISÉES

- III.A** DIRECTIVES
- III.B** PRINCIPES ET APPROCHES GÉNÉRAUX
- III.C** CONSIDÉRATIONS CROISÉES:
 - (i) PRODUITS CHIMIQUES DE L'ANNEXE C: MÉCANISMES DE FORMATION
 - (ii) CONSIDÉRATIONS SUR LA GESTION DES DÉCHETS
 - (iii) EFFETS BÉNÉFIQUES ADDITIONNELS DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LES PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C
 - (iv) GESTION DES GAZ DE PROCÉDÉ ET D'AUTRES RÉSIDUS
 - (v) FORMATION DES DÉCIDEURS ET DU PERSONNEL TECHNIQUE
 - (vi) MESURES, SUIVI ET PRÉSENTATIONS DES RAPPORTS

SECTION IV: COMPILATION DES RÉSUMÉS DES CATÉGORIES DES SOURCES INCLUSES DANS LES SECTIONS V ET VI

RESUMES DE LA SECTION V: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

RESUMES DE LA SECTION VI: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

SECTION V: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DE SOURCES: CATEGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

- V.A** LES INCINÉRATEURS DE DÉCHETS
- (i) DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, DÉCHETS DANGEREUX ET DE BOUES D'ÉPURATION
 - (ii) DÉCHET MÉDICAUX
- V.B** LE BRULAGE DE DÉCHETS DANGEREUX DANS LES FOURS A CIMENT
- V.C** LA PRODUCTION DE PÂTE À PAPIER UTILISANT LE CHLORE ÉLÉMENTAIRE, OU DES SUBSTANCES CHIMIQUES GÉNÉRANT DU CHLORE ÉLÉMENTAIRE
- V.D** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
- (i) PRODUCTION DU CUIVRE SECONDAIRE
 - (ii) USINES DE FRITTAGE DANS L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER
 - (iii) PRODUCTION D'ALUMINIUM SECONDAIRE
 - (iv) PRODUCTION DU ZINC SECONDAIRE

SECTION VI: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DES SOURCES: CATÉGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

- VI.A** LA COMBUSTION À CIEL OUVERT DE DÉCHETS, Y COMPRIS DANS LES DÉCHARGES
- VI.B** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE AUTRES QUE CEUX MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE C PARTIE II
- (i) PRODUCTION DU PLOMB SECONDAIRE
 - (ii) PRODUCTION D'ALUMINIUM PRIMAIRE
 - (iii) PRODUCTION DE MAGNESIUM
 - (iv) PRODUCTION D'ACIER SECONDAIRE
 - (v) PREMIÈRE FUSION DES MÉTAUX DE BASE

VI.C	LES SOURCES DE COMBUSTION RÉSIDENTIELLES
VI.D	LA COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES DANS DES CHAUDIÈRES DE CENTRALES ET LES CHAUDIÈRES INDUSTRIELLES
VI.E	LES INSTALLATIONS DE BRÛLAGE DE BOIS ET DE COMBUSTIBLES ISSUS DE LA BIOMASSE
VI.F	LES PROCÉDÉS SPÉCIFIQUES DE PRODUCTION DE SUBSTANCES CHIMIQUES ENTRAÎNANT DES REJETS DE SUBSTANCES INSCRITES À L'ANNEXE C
VI.G	LES FOURS CRÉMATOIRES
VI.H	LES VÉHICULES À MOTEUR, NOTAMMENT CEUX UTILISANT DE L'ESSENCE AU PLOMB
VI.I	LA DESTRUCTION DE CARCASSES D'ANIMAUX
VI.J	LA TEINTURE DE TEXTILES OU DU CUIR (AU CHLORANILE) ET LA FINITION (EXTRACTION ALCALINE)
VI.K	LES INSTALLATIONS DE BROUAGE DES ÉPAVES DE VÉHICULES
VI.L	LE CHAUFFAGE LENT DE CÂBLES EN CUIVRE
VI.M	LES RAFFINERIES D'HUILES USÉES

T A B L E D E S M A T I È R E S

V.B	Le brûlage de déchets dangereux dans des fours à ciment	9
	Préambule	9
1.	Introduction	10
1.1	Généralités sur l'industrie du ciment	10
1.2	Brûlage des déchets dans les fours à ciment	11
2.	Liens vers d'autres sources d'information	12
2.1	Considérations générales sur la gestion des déchets (Section III.C (ii)) ..	13
2.2	Autres options au traitement des déchets	13
2.3	Directives Techniques de la Convention de Bâle	13
3.	Les procédés de production de ciment	13
3.1	Principe général	14
3.2	Préparation des matières premières	14
3.3	Le procédé du four rotatif	15
3.4	Le procédé de broyage du ciment	17
3.5	Contrôle des émissions	18
4.	Le brûlage	18
4.1	Utilisation de combustibles conventionnels	18
4.2	Utilisation de déchets ou de déchets dangereux comme combustible ..	19
5.	Produits entrant et sortant du procédé	26
5.1	Sorties générales	26
5.2	Utilisation de l'énergie	27
5.3	Emissions de PCDD/PCDF	28
5.4	Rejets de PCH et HCB	34
6.	Meilleures techniques disponibles et meilleures pratiques environnementales	34
6.1	Mesures générales de gestion	34
6.2	Mesures spécifiques	37
7.	Exigences de performance basées sur les meilleures techniques disponibles ..	42
8.	Suivi du procédé et des paramètres opératoires	43
	Références	44
	Autres sources	46

Tableaux

Tableau 1. Résumé des mesures de PCDD/PCDF	30
Tableau 2. Injection de déchets au niveau du préchauffage et de la précalcination, et influence sur les émissions de PCDD/PCDF.....	33

Figures

Figure 1. Schéma du procédé et frontières entre les différentes étapes de la production de ciment	15
Figure 2. Four rotatif avec préchauffeur à suspension et unité de calcination	17
Figure 3. Evolution de la température en fonction des temps de séjour dans un four de fabrication de clinker avec préchauffage et pré-calcination cycloniques.....	29

■ Résumé

L'objectif principal des fours à ciment est de produire le clinker. Brûler les déchets dans les fours à ciment vise à récupérer l'énergie et à remplacer les énergies fossiles. Dans certains cas, des déchets dangereux sont détruits dans ces installations.

Le procédé de fabrication comprend la décomposition à environ 900°C du carbonate de calcium (CaCO₃) en oxyde de calcium (CaO, chaux) (calcination), suivie du procédé de formation de clinker dans un four rotatif à 1450°C. Le clinker est ensuite broyé sous vide avec du gypse et d'autres additifs, pour produire le ciment. Selon les conditions physiques et chimiques, les principales étapes du procédé de fabrication de ciment, notamment la cuisson, sont dites sèche, humide, semi sèche et semi humide.

La combustion des déchets dangereux peut conduire à la formation puis au dégagement de substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm. En outre, ces rejets peuvent se produire dans les lieux de stockage.

En travaillant dans de bonnes conditions de fabrication, et avec l'installation de mesures primaires appropriées, il devrait être possible de faire fonctionner les fours à ciment brûlant des déchets dangereux de telle manière à ce que la formation et le rejet de substances chimiques inscrites à l'Annexe C, soient réduits pour obtenir des concentrations de PCDD et PCDF, dans les gaz de combustion, inférieures à 0,1 ng I-TEQ/Nm³ (teneur en oxygène de 10%), en fonction de divers paramètres comme l'utilisation de combustibles propres, le chargement des déchets, la température et le dépoussiérage. Au besoin, des mesures secondaires additionnelles devraient être appliquées.

Il existe de nombreuses données sur les émissions dans l'air des PCDD et PCDF.

Des rejets de PCDD/PCDF, par les poussières des fours à ciment, et éventuellement par le clinker, ont été signalés et font actuellement l'objet d'investigations. Des informations sur les PCB et HCB sont encore rares.

Les niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales, pour le contrôle des PCDD et PCDF dans les gaz rejetés, sont <0,1 ng I-TEQ/Nm³ avec des conditions de référence de 273 K, 101.3kPa, 10% O₂ et gaz sec.

Préambule

Le document suivant fournit des orientations sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales, pour les fours à ciment brûlant des déchets dangereux en rapport avec l'Article 5 et l'Annexe C, Partie II de la Convention. Les déchets peuvent être co-incinérés dans des fours à ciment, soit en tant que combustible de rechange, soit pour les détruire. Cette section considère aussi donc les

exigences de l'Article 6 de la Convention concernant la destruction de déchets contenant des polluants organiques persistants.

Dans cette section est pris également en compte le rapport *General Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of Wastes Consisting of, Containing or Contaminated with Persistent Organic Pollutants (POPs)* développé par les Parties à la Convention de Bâle sur le Contrôle des Mouvements Transfrontières de Déchets Dangereux et de leur Elimination (Basel Convention Secretariat 2005). Ces directives fournissent des conseils sur les meilleures techniques disponibles à appliquer pour la destruction ou la transformation irréversible de polluants organiques persistants, et identifient la co-incinération dans les fours à ciment comme un procédé qui peut être utilisé pour la destruction et la transformation irréversible de polluants organiques persistants dans les déchets.

La destruction et la co-incinération de déchets et de déchets dangereux dans des fours à ciment se situent également dans le cadre de cette section. Il doit être gardé à l'esprit, en lisant ces directives, qu'il n'existe pas actuellement de définitions rigoureuses des termes «déchets» et «déchets dangereux». Dans le contexte de ces directives, le terme «déchet» est utilisé indépendamment de sa valeur énergétique, ou de son potentiel à se substituer à des ressources minérales.

Cette section aborde les questions concernant les catégories de sources dans l'Annexe C, partie II b: le brûlage de déchets dangereux dans les four à ciment; et dans le cas de la co-incinération de déchets municipaux ou de boues d'épuration dans les fours à ciment, la catégorie de source partie II a.

1. Introduction

1.1 Généralités sur l'industrie du ciment

La production mondiale de ciment a augmenté de manière significative ces dernières années, et il est prévu que cette tendance continuera à l'avenir. Selon les chiffres de l'industrie du ciment, la production totale annuelle en 2003 était de 1'940 millions de tonnes, à comparer avec 1'690 millions de tonnes en 2001 et 1'660 millions de tonnes en 2002. Une grande partie de cette production est effectuée par voie sèche (de Bas 2002; DFIU/IFARE 2002).

Au cours des dernières années, il y a eu une augmentation annuelle régulière estimée de 3,6% de cette production due à une forte demande des pays en développement et des pays avec des économies en transition. Actuellement l'Europe a une part de 14,4% de la production mondiale, les Etats-Unis d'Amérique 4,7%, le reste de l'Amérique 6,6%, l'Asie 67,5% (dont la Chine 41,9%), l'Afrique 4,1% et le reste du monde 2,7%. On a estimé que la consommation globale de ciment était de 260 kg par habitant en 2004 (Cembureau 2004).

La production de ciment en Europe atteint environ 190 millions de tonnes par an. Plus de 75% de cette production repose sur des procédés voie sèche, grâce à l'adoption accrue de ces procédés au rendement énergétique plus élevé pour les installations

nouvelles, et de capacité plus importante; 16% du total est produit par voie semi sèche ou semi humide, et 6% par voie humide. La capacité typique d'un nouveau four européen est de 3'000 tonnes de clinker par jour (Wulf-Schnabel and Lohse 1999).

L'industrie du ciment en Chine a produit 1'038 millions de tonnes de ciment en 2005 (808 kg par habitant; 45,4% de la production mondiale)¹. Approximativement 60% ont été produit dans 4'000 fours verticaux (Karstensen 2006a).

Aux Etats-Unis, un four moyen produit 468'000 tonnes par an (chiffre de 2002). Aujourd'hui, environ 81% du ciment produit aux Etats-Unis est fabriqué en utilisant le procédé par voie sèche (site Internet du Portland Cement Association).

Traditionnellement, le combustible primaire utilisé dans les fours à ciment est le charbon. D'autres combustibles sont également utilisés, tels que le coke de pétrole, le gaz naturel et le pétrole. (European Commission 2001). En Europe, la consommation d'énergie spécifique de l'industrie cimentière a été réduite d'environ 30% au cours des 20 dernières années (l'équivalent approximatif de 11 millions de tonnes de charbon par an) (Cembureau 2004). Il n'est pas rare que les fours puissent être alimentés à partir de différents combustibles et que ces combustibles changent de temps à autre en fonction de leurs coûts.

1.2 Brûlage de déchets dans les fours à ciment

En plus des carburants conventionnels mentionnés dans la section 1.1, l'industrie cimentière emploie divers types de déchets comme combustible. Dans l'industrie du ciment européenne la consommation de déchets en tant que combustible s'élève à environ 6 millions de tonnes, ce qui correspond à un taux thermique de substitution de 18% (Cembureau 2004).

En outre, les fours à ciment peuvent contribuer à la destruction de déchets, y compris les déchets dangereux, dont certains avec peu ou pas de contenu énergétique ou matériaux minérale utile. Ceci peut être fait sur demande des autorités nationales (gouvernements) ou en réponse à une demande locale. Dans une installation bien contrôlée, on peut atteindre des efficacités de destruction élevées pour les composés organiques.

Le co-traitement des déchets dangereux peut seulement se faire si certains contrôles sont effectués: à l'entrée (par exemple la teneur en métaux lourds, la valeur calorifique, la teneur en cendres, la teneur en chlore), pendant le procédé, et sur les émissions, tel que décrit ci-dessous.

Cependant, il doit être précisé une nouvelle fois, que les fours à ciment sont principalement des procédés de production de clinker, et toutes les conditions de fonctionnement qui peuvent donner un clinker satisfaisant ne sont pas forcément idéales pour la destruction des déchets; par exemple, les fours à ciment tendent à fonctionner à des niveaux plus bas en oxygène, et plus élevés de monoxyde de carbone, que les incinérateurs bien réglés. La destruction des déchets organiques a besoin non seulement de hautes températures pendant des durées assez longues, mais aussi d'un apport d'oxygène suffisant, et un bon mélange des composés organiques à détruire, et de l'oxygène. Des conditions peuvent exister où les déchets ne sont pas détruits de

manière adéquate, si le déchet n'est pas introduit correctement, ou si les niveaux disponibles d'oxygène sont trop faibles. La conception et l'opération des fours à ciment sont cruciales pour ce type d'application.

Il doit être souligné que cette activité est distincte de la substitution du combustible ou de la matière première dans le procédé. Des fours à ciment ont été employés de cette façon pendant plusieurs d'années dans des pays tels que le Japon, la Norvège et la Suisse, où il y a peu d'espace disponibles pour des sites de décharges. Plus récemment, des fours modernes ont été employés pour la destruction de déchets dans quelques pays en développement, où le manque d'infrastructures existantes pour l'élimination des déchets et leur incinération signifie que les fours présentent l'option la plus économique et la plus facilement disponible. Cette section vise à donner des conseils en ce qui concerne les questions environnementales qui interviennent dans de tels cas. Même là où de bonnes infrastructures d'élimination de déchets existent, il peut être utile de compléter la capacité locale par l'utilisation des fours à ciment.

L'application des approches impliquant la gestion des déchets, telle que la réutilisation ou le retraitement, est préférable à l'élimination par mise en décharge ou en dépôts, ou par une destruction dans des fours à ciment. Une évaluation au cas par cas devrait être effectuée dans le contexte d'une stratégie globale de gestion des déchets (voir la section III C (ii)).

Dans des cas exceptionnels, des fours à ciment peuvent être employés pour l'élimination sans risques de déchets qui ont des valeurs calorifiques ou teneurs en minerais faibles, et qui ne dérèglent pas le procédé de production de clinker. Pour ce type de traitement, les autorités et les exploitants de l'installation de ciment doivent parvenir à des accords appropriés au cas par cas.

Lorsque des fours à ciment sont employés pour la destruction des déchets, d'autres dispositions alternatives devraient être soigneusement évaluées. La destruction des déchets en fours à ciment doit répondre à des normes strictes environnementales, de sûreté, de salubrité et ne doit pas altérer la qualité finale du produit. Dans les pays où il n'existe pas de normes strictes pour la qualité du produit, il est important d'exiger l'application des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales pour ces installations de co-incinération de déchets. Le procédé doit être contrôlé avec précision lors de la destruction de tels déchets, et les émissions régulièrement mesurées.

2. Liens vers d'autres sources pertinentes d'information

Des informations complètes sur l'opération des fours à ciment en général, et sur le brûlage de déchets dans les fours à ciment, se trouvent dans:

European Commission.2001. *Reference Document on the Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain². (<http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>)

European Commission.2005. *Reference Document on the Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC

Bureau, Seville, Spain.(<http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>)

Holcim. 2006. *Guidelines on Co-Processing Waste Materials in Cement Production*. The GTZ- Holcim public private partnership 2006. (http://www.holcim.com/gc/CORP/uploads/GuidelinesCOPROCEM_web.pdf)

CSI (Cement Sustainability Initiative). 2006. *Guidelines for the Selection and Use of Fuels and Raw Materials in the Cement Manufacturing Process: Fuels and Raw Materials*. World Business Council for Sustainable Development, Geneva, Switzerland. (http://www.wbcscement.org/pdf/tf2/tf2_guidelines.pdf)

2.1 Considérations générales sur la gestion des déchets (Section III.C (ii))

La société peut contrôler les déchets d'un certain nombre de manières, selon leur nature physique et chimique, et en fonction du contexte économique, social, et environnemental dans lequel ils sont produits. Certaines sont énumérées ci-dessous. Des décisions spécifiques seront toujours influencées par des circonstances locales, telles que la disponibilité des équipements de traitement des déchets, les marchés alternatifs pour les matériaux, et l'infrastructure disponible pour rassembler, contrôler et transporter les déchets sans risque (CSI 2005). La Section III C (ii) de ces Directives présente une hiérarchie de prises de décision pour la gestion des déchets.

2.2 Autres options pour le traitement des déchets

L'utilisation des fours à ciment pour le traitement des déchets devrait être considérée comme une partie seulement du contexte général des options de gestion des déchets, dans une hiérarchie comme illustré ci-dessus. L'incinération de déchets est également une des options pour l'élimination des déchets, et les directives pour les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales devraient être prises en considération quand des fours à ciment sont employés pour cette application.

2.3 Directives Techniques de la Convention de Bâle

Les Directives Techniques développées par la Convention de Bâle doivent être soigneusement considérées, car elles fournissent de précieux conseils sur les meilleures techniques disponibles applicables à la destruction ou à la transformation irréversible des polluants organiques persistants en tant que déchets.

3. Les procédés de production de ciment

Dans cette directive, la description du procédé de production de ciment est limitée aux divers procédés principaux utilisant des fours rotatifs. Il ne faut pas oublier qu'en Chine la plus grande partie du ciment est produite dans des fours verticaux qui ont une efficacité énergétique basse et des performances faibles sur le plan de l'environnement (H. Klee, World Business Council for Sustainable Development, communication personnelle 2004). Par conséquent, les fours verticaux ne devraient pas être retenus comme option pour les meilleures techniques disponibles.

3.1 Principe général

La chimie de base du procédé de fabrication de ciment commence par la décomposition du carbonate de calcium (CaCO_3) en oxyde de calcium (CaO , chaux) à environ 900°C avec un dégagement gazeux de dioxyde de carbone (CO_2); cette étape s'appelle la calcination. Elle est suivie du procédé de formation de clinker durant lequel l'oxyde de calcium réagit à température élevée (typiquement $1'400-1'500^\circ\text{C}$) avec de la silice, de l'alumine et de l'oxyde ferreux pour former des silicates, des aluminates et des ferrites de calcium qui composent le clinker Portland. Ce clinker est ensuite broyé avec du gypse et d'autres additifs pour donner du ciment. La Figure 1 identifie les procédés principaux, et les frontières des systèmes pour la fabrication du ciment.

3.2 Préparation des matières premières

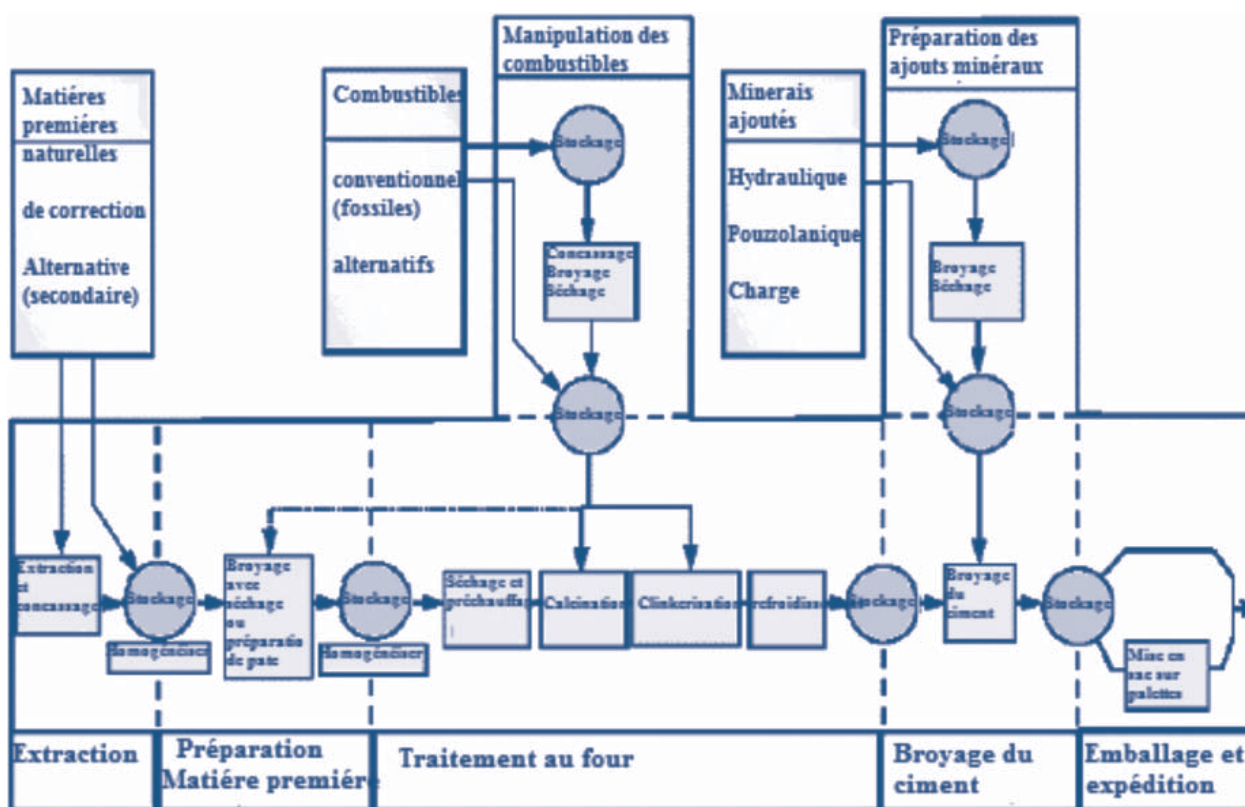
La préparation de la matière première est d'une grande importance pour l'efficacité de fonctionnement du four, tant au niveau de la bonne préparation de la chimie des matières premières que de l'assurance que celles-ci soient suffisamment fines. Il est important d'assurer un bon dosage de chaque composant de la matière première de charge afin de réaliser une composition globale consistante. Ceci est indispensable pour un fonctionnement régulier du four, et pour la fabrication d'un produit de haute qualité.

La préparation du combustible solide (concassage, broyage et séchage) est habituellement effectuée sur le site lui-même.

Les matières premières, dans des proportions contrôlées, sont broyées et mélangées ensemble pour former un mélange homogène avec la composition chimique nécessaire. Pour les procédés secs et semi secs, les constituants de la matière première sont broyés et séchés pour donner une poudre fine, en utilisant surtout les gaz de procédé et/ou l'air produit sortant du refroidisseur. Pour les matières premières ayant une teneur en humidité relativement plus élevée, ainsi que pour les procédures de démarrage, un four auxiliaire peut être nécessaire pour fournir de la chaleur additionnelle.

Le broyage humide est employé seulement en combinaison avec le procédé humide ou semi humide. Les composants des matières premières sont broyés avec de l'eau additionnelle, pour former une boue. Le processus humide est normalement préféré dès que la matière première a une teneur en humidité supérieure à 20% en poids.

■ Figure 1. Schéma du procédé et frontières entre les différentes étapes de la production de ciment



(European Commission 2001)

3.3 Le procédé de four rotatif

La matière première, appelée farine crue, mélange cru, boue (dans le cas d'un procédé par voie humide) ou alimentation crue, est chauffée dans un four, typiquement un grand four tournant cylindrique en acier qui est incliné (four rotatif). Les fours fonctionnent dans une configuration à contre-courant. Les gaz et les solides circulent dans des directions opposées à travers le four, ce qui fournit un transfert thermique plus efficace. La matière première pénètre par l'extrémité supérieure ou froide du four rotatif, la pente et la rotation l'entraînant vers l'extrémité inférieure ou chaude. Le four est allumé à l'extrémité chaude, habituellement avec du charbon ou du coke de pétrole comme combustible primaire. Pendant que la matière première se déplace le long du four, en étant chauffée, elle subit les réactions de séchage et de cuisson et forme le clinker, qui est composé de morceaux de matière fondue incombustible. Il existe diverses façons d'introduire le combustible (fossile ou autre) dans le four. Ceci est détaillé dans la sous section 4.1 ci-après.

Le clinker quitte l'extrémité chaude du four à une température d'environ 1'000°C. Il tombe dans un refroidisseur, typiquement une grille mobile au travers de laquelle on souffle de l'air de refroidissement.

Divers processus de fabrication du ciment peuvent être suivis pendant l'étape de combustion pour obtenir les transformations physiques et chimiques voulues. Ces

processus varient en ce qui concerne la conception d'équipement, le mode de fonctionnement et la consommation de combustible.

3.3.1 Procédé à voie sèche

Ici, la matière première est broyée et séchée pour donner une farine sous forme de poudre fluide. Cette farine crue alimente ensuite un four de préchauffage ou de pré-calcination ou, plus rarement, un long four voie sèche.

3.3.1.1 Le procédé sec avec préchauffage

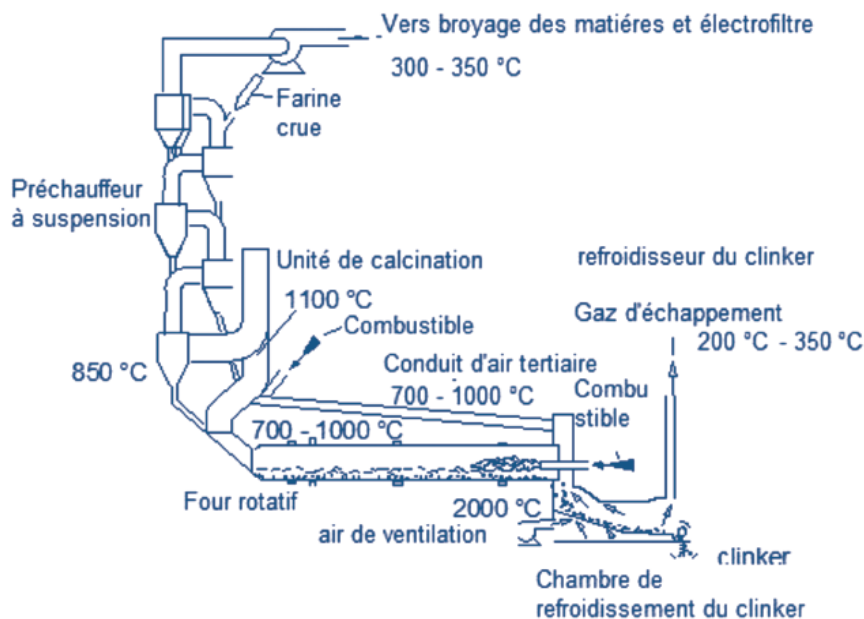
Dans ce procédé, des fours de préchauffage sont utilisés pour augmenter l'efficacité thermique. Un four de préchauffage pour la farine consiste en une tour verticale contenant une série de chambres du type cyclonique. La matière première est introduite par le haut de la tour. Les gaz chauds qui s'échappent du four rencontrent la matière première, qui descend avant qu'elle n'atteigne le four. La matière est séparée des gaz dans les chambres cycloniques, puis déposée au niveau inférieur. Puisque la matière entre dans le four à une température plus élevée que dans le cas des longs fours à voie sèche conventionnels, la longueur du four de préchauffage est plus courte.

Avec des systèmes à préchauffage, il est parfois nécessaire d'enlever les composés indésirables, tels que certains composés alcalins, par un système d'échappement situé entre l'extrémité qui alimente le four rotatif, et la tour de préchauffage. Autrement, ces composés alcalins pourraient s'accumuler dans le four et la couche qui se dépose sur les parois est difficile à enlever, et peut nécessiter l'arrêt du four. Ce problème peut être minimisé en réduisant la proportion des gaz riches en composés alcalins. Si ce système d'échappement des alcalins est équipé de sa propre cheminée d'évacuation, on peut s'attendre à ce que celle-ci rejette les mêmes polluants que les gaz sortant du four.

3.3.1.2 Le procédé sec à préchauffage/pré-calcination

Ce procédé est similaire au procédé sec, avec préchauffage, mais dispose d'un système d'allumage auxiliaire pour augmenter la température des matières premières, avant leur introduction dans le four (Figure 2). Une chambre de pré-calcination est ajoutée en bas de la tour du four de préchauffage. Le premier avantage d'utiliser un système de pré-calcination, est d'augmenter la capacité de production du four, car seule la cuisson du clinker y est effectuée. Son utilisation permet également d'allonger la durée de vie des réfractaires du four, grâce à la réduction de la charge calorifique dans la zone de cuisson. Cette configuration peut également nécessiter un système de dérivation pour le contrôle de l'alcali, qui peut dégager les mêmes polluants que les gaz sortant du four, si l'évacuation se fait au moyen d'une cheminée indépendante,

■ Figure 2. Four rotatif avec préchauffeur à suspension et unité de calcination



3.3.2. La voie semi sèche

En voie semi sèche, la matière première sèche est agglomérée avec 12-14 % d'eau, et introduite dans un four de préchauffage à grille, ou dans un long four équipé de croix, sur lesquelles les agglomérats sont séchés et partiellement calcinés par les gaz chauds s'échappant du four, avant d'être introduits dans le four rotatif.

3.3.3. La voie semi humide

Dans le procédé semi humide, les matières premières (souvent avec un taux d'humidité élevé) sont broyées dans l'eau pour donner une boue pompable, qui est ensuite séchée dans des filtres-presses. Le gâteau de filtration est extrudé en agglomérats, puis est envoyé, soit sur une grille de préchauffage, soit directement dans un sécheur pour la production de farine crue.

3.3.4. La voie humide

Dans le procédé humide, les matières premières (souvent avec une forte teneur en humidité) sont broyées dans l'eau pour former une boue pompable. La boue est introduite soit directement dans le four, soit d'abord dans un sécheur. La voie humide est un procédé plus ancien, utilisé dans le cas du broyage humide des matières premières. Elle demande plus d'énergie que la voie sèche à cause de l'évaporation de l'eau de la boue.

3.4 Le procédé de broyage du ciment

Le clinker est broyé avec du gypse et d'autres additifs, généralement dans un broyeur à boulets, pour donner le produit final – le ciment. Le ciment est transporté du broyeur à ciment de finissage, aux grands silos de stockage verticaux qui se trouvent dans le département de stockage ou d'expédition. Le ciment est retiré des silos de stockage par

divers dispositifs d'extraction, puis dirigé jusqu'aux points de chargement dans l'usine, ou directement jusqu'aux véhicules de transport.

3.5 Contrôle des émissions

En général, les fours à ciment sont équipés d'électrofiltres ou de filtres en tissu, ou des deux, pour le contrôle des matières particulaires. Dans certains cas, les gaz d'évacuation sont refroidis avant de passer dans le dispositif par voie sèche de contrôle antipollution de l'air. Les dispositifs de contrôle antipollution des gaz acides ne sont pas utilisés dans les fours à ciment puisque les matières premières sont fortement alcalines, et fournissent un bon contrôle pour les gaz acides (Karstensen 2006b), bien qu'il existe quelques fours équipés de systèmes de lavage humides des gaz, si le taux de soufre de la farine est élevé.

Des techniques pour la réduction de NO_x sont principalement des méthodes intégrées primaires comme le refroidissement de la flamme de combustion, la conception de brûleur, la combustion par étapes ou la réduction sélective non catalytique, par l'injection d'ammoniaque.

4. Le brûlage

4.1 Utilisation de combustibles conventionnels

Les combustibles conventionnels utilisés dans les cimenteries sont des combustibles fossiles tels que le charbon, le lignite, le fioul ou le gaz naturel. Ces combustibles peuvent être employés séparément ou en association; dans de tels cas, une qualité minimale (en termes de valeur calorifique, de métaux lourds ou de contenu en soufre) doit être assurée. Certains des combustibles fossiles (par exemple, le charbon) sont broyés avant qu'ils ne soient injectés.

Pour assurer une production bien régulière du four, une production de clinker homogène et une combustion complète, il est nécessaire de prendre en compte quelques critères importants pour le traitement des combustibles. L'oxydation des constituants du combustible se produit plus rapidement quand les combustibles sont bien mélangés, et lorsque la surface spécifique est plus grande. Dans le cas de combustibles liquides, l'injection doit se faire aussi régulièrement que possible. Dans le cas des combustibles solides, un mélange complet est nécessaire avec les autres combustibles utilisés en même temps. Ceci n'est pas nécessairement exigé tant que le combustible est homogène et très uniforme.

Une usine de ciment consomme de 3'000 à 6'500 MJ (électricité et transport non inclus) par tonne de clinker produite, selon les matières premières et le procédé utilisé. La plupart des fours à ciment emploient aujourd'hui du charbon et du coke de pétrole, en tant que combustibles primaires, et dans une moindre mesure le gaz naturel et le fioul. Toute en fournissant de l'énergie, certains de ces combustibles brûlent en laissant des cendres contenant des composés à base de silice et d'alumine (et d'autres éléments en traces). Ceux-ci se combinent avec les matières premières dans le four, contribuant à la structure du clinker, et font partie du produit final. L'énergie représente typiquement 30

à 40% du coût de production. Les différents types de combustibles sont, par ordre décroissant d'importance:

- Le charbon pulvérisé et le coke de pétrole (petcoke);
- Le fioul (fioul lourd);
- Le gaz naturel.

Les moyens possibles d'alimentation pour approvisionner le four en combustible sont:

- Par le brûleur principal à la sortie du four rotatif;
- Par une goulotte d'alimentation à la chambre de transition à l'entrée du four rotatif (dans le cas de morceaux de combustible solide);
- Par les brûleurs secondaires au conduit vertical;
- Par les brûleurs de pré-calcination, vers le four de pré-calcination;
- Par une goulotte d'alimentation vers le four de pré-calcination/préchauffage (dans le cas de morceaux de combustible solide);
- Par une vanne à mi-longueur du four, dans le cas de fours longs, voie sèche et voie humide (dans le cas de morceaux de combustible solide).

Selon des conditions de fonctionnement - explicitement dans le cas de manipulations non conformes de l'installation - des émissions significatives de dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD) et de dibenzofuranes polychlorés (PCDF) peuvent se produire. Dans des conditions correctes, le dégagement de PCDD/PCDF devrait être bien en dessous du seuil de 0,1 ng TEQ/m³.

4.2 Utilisation de déchets ou de déchets dangereux comme combustible

La sélection des déchets et des matériaux dépend d'un certain nombre de considérations liées entre elles, notamment:

- Impact sur les émissions de CO₂ et la consommation de combustible;
- Impact sur le coût du combustible;
- Impact sur d'autres émissions telles que NO_x, SO₂, particules, polluants organiques persistants, métaux lourds, CO, composés organiques;
- Impact sur les mines et les activités de carrière;
- Stabilité du fonctionnement du four (affectée par des paramètres tels que la valeur calorifique et la teneur en eau);
- Impact sur la qualité du produit (par exemple restriction du pourcentage de chlore dans le ciment: <0,1%).

Les exigences de la qualité du produit, en particulier une limitation de la teneur en chlore à 0,1%, dans le ciment, limitent les options possibles pour le combustible, et la quantité de chlore à l'entrée doit être suivie.

4.2.1 Exemples de déchets et de combustibles alternatifs

La substitution des combustibles fossiles par des alternatives est une pratique bien développée dans un certain nombre de pays. Quelques pays utilisent les déchets en tant que carburants alternatifs depuis presque 30 ans, et quelques gouvernements nationaux favorisent activement cette approche, à condition que l'on respecte des conditions rigoureuses en ce qui concerne le contrôle des entrées, du procédé et des émissions dans l'air. Cependant, quelques parties prenantes, et certaines juridictions, ont considéré la pratique dans la même optique que l'incinération. Dans les pays où cette pratique est bien établie, on a évalué les types de matériaux les plus adaptés pour être incinérés dans des fours à ciment (CSI 2005); ceux-ci peuvent inclure:

- Les pneus usés;
- Les viandes, farines animales et graisses d'animaux;
- Les plastiques;
- La sciure de bois imprégnée;
- Les déchets de bois, de papier, de cartons, d'emballages;
- Les boues (fibres papetières, boues d'épuration);
- Les déchets agricoles et organiques;
- Le schiste, le schiste pétrolifère ou bitumineux;
- Les boues de charbon;
- Les résidus de distillation;
- Les poussières de charbon ou de coke/anodes/coke chimiques;
- Les huiles usées, les eaux souillées à l'huile;
- Les solvants usagés;

Il est important de contrôler les paramètres des déchets (par exemple: chaleur spécifique, teneurs en eau et en cendres, et teneurs en chlore et en métaux lourds).

4.2.2 Liste négative de déchets

La co-incinération ne devrait être appliquée que si, et seulement si, toutes les conditions et exigences préalables touchant à l'environnement, à la santé, aux aspects socio-économiques et à l'opération, sont respectées. Par conséquent, les déchets ne conviennent pas tous pour une utilisation simultanée avec d'autres combustibles. Ce qui suit est une liste de déchets déconseillés pour incinération en cimenteries:

- Déchets nucléaires;
- Déchets électroniques;
- Explosifs;
- Acides minéraux;

- Déchets contenant de l'amiante;
- Déchets à haute teneur en cyanure;
- Déchets médicaux infectieux;
- Armes chimiques ou armes biologiques destinées à la destruction;
- Batteries complètes;
- Ordures municipales non triées et tout autre déchet de composition inconnue.

Les déchets électroniques se composent d'ordinateur et accessoires, consoles, outils de communication, jouets et également les produits blancs tels que les appareils de cuisine ou des appareils médicaux. La composition moyenne indique que les déchets électroniques contiennent, d'une part des substances nocives à la santé et à l'environnement tel que le Cl, Br, P, Cd, Ni, Hg, PCB et les composés bromés ignifuges à haute concentration, souvent au dessus des valeurs seuil, et d'autre part, des teneurs si élevées en métaux rares et précieux que tous les efforts doivent être entrepris pour les recycler. Le co-traitement des parties plastiques des déchets électroniques serait une option intéressante, mais exige un démontage et un tri préalable (d'après Holcim, 2006).

La liste présentée ci-dessus n'est pas une liste exhaustive. Généralement les déchets avec une faible capacité calorifique, et une teneur élevée en métaux lourds, ne sont pas adaptés à un traitement en fours à ciment. Les déchets solides municipaux ne devraient pas être co-incinérés en cimenteries à cause de compositions imprévisibles et de caractéristiques inconnues. En outre, certaines cimenteries peuvent exclure des matériaux additionnels, en fonction des circonstances locales.

4.2.3 Éléments pour la sélection des déchets

La sélection des déchets est un processus complexe et est influencé par beaucoup de facteurs, tels que les caractéristiques du four, la nature intrinsèque du déchet, l'impact général sur l'environnement, la qualité désirée de clinker, la probabilité de la formation et du dégagement des produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm et d'autres rejets dans l'environnement. L'opérateur doit développer un procédé d'évaluation et d'acceptation des combustibles. Fondée sur ces éléments, une évaluation est effectuée de l'effet du combustible sur les émissions de l'usine, et du besoin potentiel de nouveaux équipements ou de procédures permettant de s'assurer qu'il n'y ait aucun impact négatif sur l'environnement.

Les paramètres qui doivent être considérés lorsque l'on choisit les combustibles et les matières premières sont (CSI 2005):

4.2.3.1 L'opération du four

- La teneur en chlore, soufre, et alcalins: ces éléments peuvent se concentrer dans le four menant à une accumulation, à une obstruction et à un procédé instable; un excès de chlore ou d'éléments alcalins peut produire des poussières de four, ou des poussières dans les systèmes dérivés (et peut nécessiter l'installation d'une déviation), qui doivent être extraites, recyclées ou éliminées de manière correcte;

- La teneur en eau: une teneur élevée peut réduire la productivité et l'efficacité du four;
- La valeur calorifique (du combustible): la valeur calorifique est le paramètre principal pour déterminer l'énergie fournie au procédé;
- La teneur en cendres: elle affecte la composition chimique du ciment, et peut nécessiter un ajustement de la composition du mélange des matières premières;
- Des facteurs additionnels sont pertinents, par exemple la capacité de traitement et le volume des gaz perdus;
- La stabilité des opérations (par exemple, des pics de CO), et l'état (liquide, solide), la préparation (déchetage, broyage) et l'homogénéité des déchets.

4.2.3.2 Qualité du clinker et du ciment

- Teneur en phosphate: celle-ci influence le temps de durcissement;
- Teneurs en chlore, soufre, et alcalins: celles-ci affectent la qualité globale du produit;
- Présence de thallium et de chrome, en fonction des poussières des fours et de la qualité du ciment, ainsi que des réactions allergiques possibles pour les utilisateurs sensibles.

4.2.3.3 Emissions atmosphériques polluantes, autres que les substances listées dans l'Annexe C

- Teneurs élevées en soufre dans les matières premières, et les combustibles et déchets utilisés: Elles peuvent donner lieu à un dégagement de SO₂;
- Contrôle des gaz produits: Lorsqu'un système de déviation d'éléments alcalins est installé, il faut également un système approprié de contrôle des émissions vers atmosphériques, sur le by-pass de la sortie des gaz, au même titre que sur celui fait sur le flot principal des gaz sortant en cheminée;
- Chlorures dans les matières premières ou combustibles: Ceux-ci peuvent se combiner avec des alcalins présents dans la charge d'alimentation, pour former une matière particulaire fine composée de chlorures de ces alcalins, qui peut être difficile à contrôler; dans certains cas les chlorures se combinent avec de l'ammoniaque présent dans la chaux, pour produire de forts dégagements bien visibles, de fines particules composées principalement de chlorure d'ammonium;
- Métaux dans les combustibles ou dans les matières premières: Les matières premières et les combustibles contiendront toujours des métaux à des concentrations variables. Le comportement de ces métaux durant le procédé de combustion dépend de leur volatilité. Les composés métalliques non-volatils restent au sein du procédé, et sortent du four en tant qu'éléments de la composition du clinker. Les composés métalliques semi-volatils passent partiellement dans la phase gazeuse aux températures de frittage pour ensuite se condenser sur les matières premières dans les parties plus froides du four. Ceci

mène à un effet cyclique dans le four (cycles internes) qui augmente jusqu'au point où un équilibre est établi et maintenu entre l'entrée et la sortie via le clinker. Les composés métalliques volatils se condensent sur les particules de matières premières à de plus basses températures, et peuvent créer des cycles internes ou externes, à moins qu'ils ne soient émis avec les fumées. Le thallium et le mercure, et leurs composés, sont particulièrement facilement volatilisés, et à un moindre degré aussi le cadmium, le plomb, le sélénium et leurs composés. (European Commission 2001).

- La concentration en métal des poussières du four à ciment dépend des matières de charge, et d'une re-circulation à l'intérieur du four. En particulier, l'utilisation du charbon et des déchets combustibles peut faire augmenter l'entrée des métaux dans le processus. Les dispositifs de dépoussiérage peuvent seulement extraire la fraction des métaux lourds qui est fixée sur des particules. Le taux de rétention en phase gazeuse de métaux volatils, tels que le mercure, est faible. De telles entrées dans le four devraient donc être limitées. Ceci doit être pris en considération dès que des déchets contenant des métaux lourds volatils tels que le mercure, le plomb ou le cadmium seront co-incinérés. Le bois traité avec le cuivre, le chrome, l'arsenic etc. exige également des mesures spéciales en ce qui concerne le système de nettoyage de fumée;
- Le choix des combustibles peut également affecter les émissions des gaz à effet de serre. Par exemple, la substitution des combustibles fossiles par la biomasse a pour conséquence une diminution des émissions nettes de CO₂;
- Les déchets peuvent influencer les émissions de NO_x, selon leur composition et leur teneur en eau.

4.2.4 Analyse des matières entrantes

Les opérateurs qui sont responsables des fours doivent développer des critères pour l'acceptation des matières premières contenant des déchets, et doivent effectuer une évaluation continue du procédé tenant compte des points suivants:

- Nom et adresse du transporteur/fournisseur, origine du déchet, quantité, teneur en eau et en cendres, chaleur spécifique, concentration des chlorures, fluorures, soufre et métaux lourds;
- Chaque fournisseur de matériaux doit être obligé de fournir, au début et ensuite périodiquement, des échantillons représentatifs du combustible, qui seront employés à des fins d'analyse du combustible, avant qu'il ne soit livré à l'usine;
- Le fournisseur devra également inclure une fiche de données détaillant les propriétés chimiques et physiques du combustible fourni, et donnant des informations sur la toxicité, les risques pour l'environnement et pour la santé pendant le transport, la manipulation et son utilisation;
- Les caractéristiques physiques et chimiques de l'échantillon doivent être examinées et vérifiées selon les spécifications.

Un système clair pour la gestion de l'assurance qualité et de contrôle qualité doit être mis en place, y compris en ce qui concerne le prélèvement et l'analyse périodiques des matières réellement fournies à l'usine, et la vérification que le seuil des contaminations respecte les spécifications fixées.

4.2.5 Prétraitement et stockage pour l'utilisation de déchets comme combustible secondaire

Les conditions de stockage des combustibles secondaires dépendent de leur nature. En général, il faut faire attention aux émissions, et aux exigences techniques et hygiéniques.

Lors du stockage initial, les matériaux à forte contamination (avec un contenu biologique substantiel) et à humidité élevée (jusqu'à 40%) doivent être stockés dans des récipients spécialement conçus, afin de prévenir des risques éventuels hygiéniques. Les farines animales doivent être conditionnées dans des systèmes complètement clos. Elles sont livrées dans des conteneurs qui sont transportés, soit de manière pneumatique, soit avec un équipement mécanique jusqu'au point de stockage. Les combustibles liquides (huiles usagées, solvants et boues d'épuration) sont stockés dans des conteneurs spéciaux, conçus pour résister aux fuites et aux risques d'explosion. Des directives spéciales de sécurité doivent être élaborées et appliquées (tenant compte, par exemple, des risques d'explosion).

Le stockage intermédiaire au centre de conditionnement vise à vérifier la qualité des combustibles dérivés de déchets, après l'étape de préparation. Ici, on utilise normalement des conteneurs.

Le stockage initial, et la préparation des différents types de déchets utilisés comme combustibles, sont habituellement réalisés hors de la cimenterie, par le fournisseur ou par des organismes spécialisés dans le traitement des déchets. De telles solutions centralisées peuvent être à l'avantage de l'opérateur, dont le rôle premier est la production de clinker pour la fabrication de ciment. Cependant, la diligence exige que de tels combustibles soient soumis aux mesures d'assurance qualité par le service de réception. Cela signifie qu'il est seulement nécessaire que les fractions séparées et prétraitées soient stockées à la cimenterie, pour être ensuite dosées avant introduction dans le four. Puisque les stocks de déchets utilisables comme combustibles ont tendance à être variables, tandis que les marchés des déchets se développent rapidement, il serait judicieux de concevoir des lieux de stockage et de préparation polyvalents (Karstensen 2006b). Des mesures ont récemment été proposées (2003), dans l'Union Européenne, afin de normaliser les combustibles solides dérivés de déchets non dangereux.

Le fait de faire des mélanges de déchets dans le but de répondre à certaines spécifications, mais ayant comme conséquence la dissimulation des incidences possibles sur l'environnement par une dilution des concentrations, ne peut pas être considéré comme une pratique acceptable.

4.2.6 Efficacité de destruction

Le co-traitement des déchets dangereux peut seulement être fait si certaines conditions sont respectées, concernant le contrôle à entrée, le contrôle du cycle de combustion et le contrôle des émissions. Un des paramètres essentiels du procédé est la teneur en

oxygène des gaz produits. La destruction des déchets organiques nécessite non seulement de hautes températures et de longs temps de résidence, mais aussi un apport d'oxygène en quantité suffisante, une introduction correcte des composés organiques à détruire, et un mélange efficace des matériaux et de l'oxygène. Une bonne conception et un bon contrôle sont critiques pour l'utilisation des fours à ciment pour cette application.

Beaucoup de fours à ciment utilisent les déchets de manière commerciale (c.-à-d., ils acceptent les déchets venant de l'extérieur), dans la plupart des cas comme combustible de remplacement dans la production de clinker de ciment de Portland. Les déchets liquides sont typiquement injectés dans la partie chaude du four. Les déchets solides peuvent être introduits au niveau de la zone de calcination dans certaines installations. Pour les fours longs, cela signifie que le déchet solide est introduit à mi-longueur, et pour les fours de préchauffage/pré-calcination, l'introduction se fait au niveau d'une grille d'alimentation dans la partie du four à température élevée.

Dans le cas de déchets dangereux, on doit s'assurer de la décomposition complète des composés toxiques tels que les substances organiques halogénées. Les déchets introduits par le brûleur principal seront décomposés dans la zone de cuisson primaire à des températures supérieures à 1'800°C. Les déchets introduits dans un brûleur secondaire, ou dans unité de préchauffage ou de pré-calcination, seront brûlés à des températures plus faibles, mais la zone de cuisson du four de pré-calcination est prévue pour fonctionner à des températures supérieures à 1'000°C.

Les composés volatils présents dans des matières qui sont introduites par l'extrémité supérieure du four, ou en tant que combustibles en morceaux, peuvent s'évaporer et être modifiés par pyrolyse, sans avoir été brûlés, puisque le fonctionnement du four est à contre-courant. Les déchets injectés à mi-longueur ou par la zone d'alimentation du four, ne subissent pas les mêmes températures très élevées que subissent les déchets liquides introduits dans la partie chaude du four. Dans certains cas, des composés organiques volatils peuvent être libérés de la charge si rapidement qu'ils ne peuvent pas se mélanger à l'oxygène, et prennent feu avant de se refroidir en dessous d'une température critique, en formant des produits issus d'une combustion incomplète. Des capteurs de CO, installés pour contrôler le procédé, peuvent détecter la combustion incomplète et ainsi permettre des mesures correctives.

Les déchets dangereux utilisés comme combustibles dans l'industrie du ciment sont principalement constitués de matériaux organiques, mais peuvent également contenir des traces de composés métalliques. Pour déterminer si un four à ciment peut brûler efficacement les déchets dangereux, il faut déterminer ce que deviennent les constituants organiques.

Des tests d'analyse des émissions des fours à ciment, en vue de détecter la présence de produits chimiques organiques pendant la combustion des matériaux dangereux, ont été entrepris depuis les années '70, quand la pratique de brûler des déchets dans les fours à ciment a été envisagée pour la première fois. Les niveaux de destruction de produits chimiques tels que le chlorure de méthylène, le tétrachlorure de carbone, le trichlorobenzène, le trichloroéthane et les polychlorobiphényles (PCB) se situaient typiquement à 99,995% et plus (Karstensen 2006b).

L'utilisation potentielle de fours à ciment pour incinérer les PCB a été étudiée dans beaucoup de pays. Le taux de destruction et d'élimination déterminé à partir de plusieurs essais de combustion indique que les fours à ciment, bien conçus et fonctionnant correctement, sont efficaces pour détruire les PCB. Une efficacité de destruction et d'élimination de 99,9999% est exigée par plusieurs juridictions pour l'incinération de ces composés (par exemple l'United States Toxics Substances Control Act, le Canadian Federal Mobile PCB Treatment and Destruction Regulations), paramètre qui pourrait être utilisé comme standard pour évaluer une meilleure technique.

5. Produits entrant et sortant du procédé

5.1 Sorties générales

Les principales questions concernant l'environnement, et associées à la production de ciment, sont les émissions dans l'air, l'utilisation énergétique, ainsi que la pollution des nappes phréatiques due à la manipulation et le stockage des poussières des fours à ciment. Les rejets d'eaux usées se limitent en général seulement aux ruissellements de surface et à l'eau de refroidissement, et ne contribue pas de manière substantielle à la pollution de l'eau.

Les sorties principales des procédés de production de ciment sont:

- Le produit: le clinker, qui est broyé pour produire le ciment;
- Les gaz sortant du four: leurs volumes sont compris dans la fourchette de 1'700 à 2'500 m³/Mg de clinker (mètres cube par tonne, conditions de référence, gaz sec, 101,3 kPa, et 273 K) pour tous les types de fours. Les systèmes de préchauffage à suspension ou de pré-calcination ont normalement des volumes de gaz sortant du four d'environ 2'000 m³/Mg de clinker (gaz sec, 101,3 kPa, 273 K);
- La poussière des fours à ciment (récupérée dans l'équipement d'extraction des poussières): Aux Etats-Unis, environ 64% de la poussière de four à ciment est réutilisée dans le four; la poussière restante, qui est produite à un taux d'environ 40 kg/tonne de clinker, est principalement enterrée dans des décharges (WISE 2002; EPA 2000). Holcim, l'un des plus importants fabricants de ciment au monde, a vendu ou mis en décharge 29 kg de poussière de four à ciment par tonne de clinker en 2001 (site web de Holcim);
- Le recyclage direct dans le four de la poussière, aboutit généralement à une augmentation graduelle en teneur alcaline de la poussière produite, ce qui peut endommager les revêtements du four à ciment, réduire la production de ciment, et augmenter à la fois les émissions de particules (EPA 1998b), et les émissions dues à sa manipulation et à son élimination (EPA 1998a). En Europe, la poussière de four à ciment est normalement ajoutée directement au ciment produit (Lohse and Wulf-Schnabel 1996). L'accumulation des alcalins dans le système de four peut être évitée par l'utilisation à contre courant de la poussière, ou en

employant un système de déviation des alcalins. Pour les fours à préchauffage et à pré-calcination, ceci est parfois accompli par des systèmes de déviation des alcalins à la tête de préchauffage, ce qui élimine les composés alcalins du système;

- Les gaz sortant de la déviation alcaline: Dans les installations équipées de déviation alcaline, les gaz alcalins dérivés sont rejetés dans certains cas par une conduite d'évacuation secondaire et, dans d'autres cas, par la cheminée principale. Selon l'Agence de Protection Environnementale EPA des Etats-Unis, les polluants présents dans ce flux gazeux sont les mêmes que ceux contenus dans les gaz sortant du four principal, si bien que le même équipement de surveillance et de lutte contre la pollution est exigé (EPA 1999). Un taux de déviation alcaline de plus de 10% est en général exigé, pour l'élimination alcaline (Sutou, Harada and Ueno 2001). Cependant, un taux de déviation de 30% a aussi été signalé (Holsiepe, Shenk and Keefe 2001);

5.2 Utilisation de l'énergie

L'industrie cimentière est une industrie qui est une grande consommatrice d'énergie où l'énergie représente typiquement 30-40% des frais d'exploitation (c.-à-d., frais financiers exclus). Une usine de ciment consomme de 3'000 à 6'500 MJ de combustible par tonne de clinker produite. Cette gamme étendue de demande énergétique couvre toutes sortes de fours à ciment.

L'utilisation théorique d'énergie lors de la combustion (impliquant des réactions chimiques) est d'environ 1'700 à 1'800 MJ par tonne de clinker. L'énergie de combustion réellement utilisée pour différents systèmes de fours est dans les gammes suivantes (MJ par tonne de clinker)³:

- 3'000-3,800 procédé à voie sèche, préchauffeur à chambres cycloniques avec étages multiples, plus fours de pré-calcination;
- 3'100-4'200 pour les fours rotatifs à voie sèche équipés de préchauffeurs à chambres cycloniques;
- 3'300-4'500 pour les procédés à voie semi sèche et semi humide (four type Lepol);
- Jusqu'à 5'000 pour les fours longs à voie sèche;
- 5'000-6'000 pour les fours longs à voie humide;
- 3'100 jusqu'à >6'500 pour les fours verticaux et pour les ciments spéciaux.

La demande électrique est d'environ 90-130 kWh par tonne de ciment (European Commission 2001).

Afin d'optimiser l'entrée en énergie dans les systèmes de fours existants, il est possible de changer la configuration du four en un four court à voie sèche, avec préchauffage et précalcination à étages multiples. Cela est généralement seulement faisable dans le cadre d'une modification importante, correspondant à une augmentation de la production.

L'énergie électrique utilisée peut être minimisée grâce à l'installation de systèmes de gestion d'énergie et l'installation d'équipements efficaces en énergie, tels que des rouleaux de broyage à haute pression pour le concassage du clinker, et des commandes de vitesse variable pour les ventilateurs.

L'efficacité énergétique sera généralement diminuée par la mise en place de la plupart des types de réduction de pollution en fin de ligne, car leur opération demande habituellement un surcroît d'énergie. Certaines techniques de réduction décrites ci-dessous auront un effet positif sur les dépenses d'énergie, par exemple l'optimisation du contrôle du procédé.

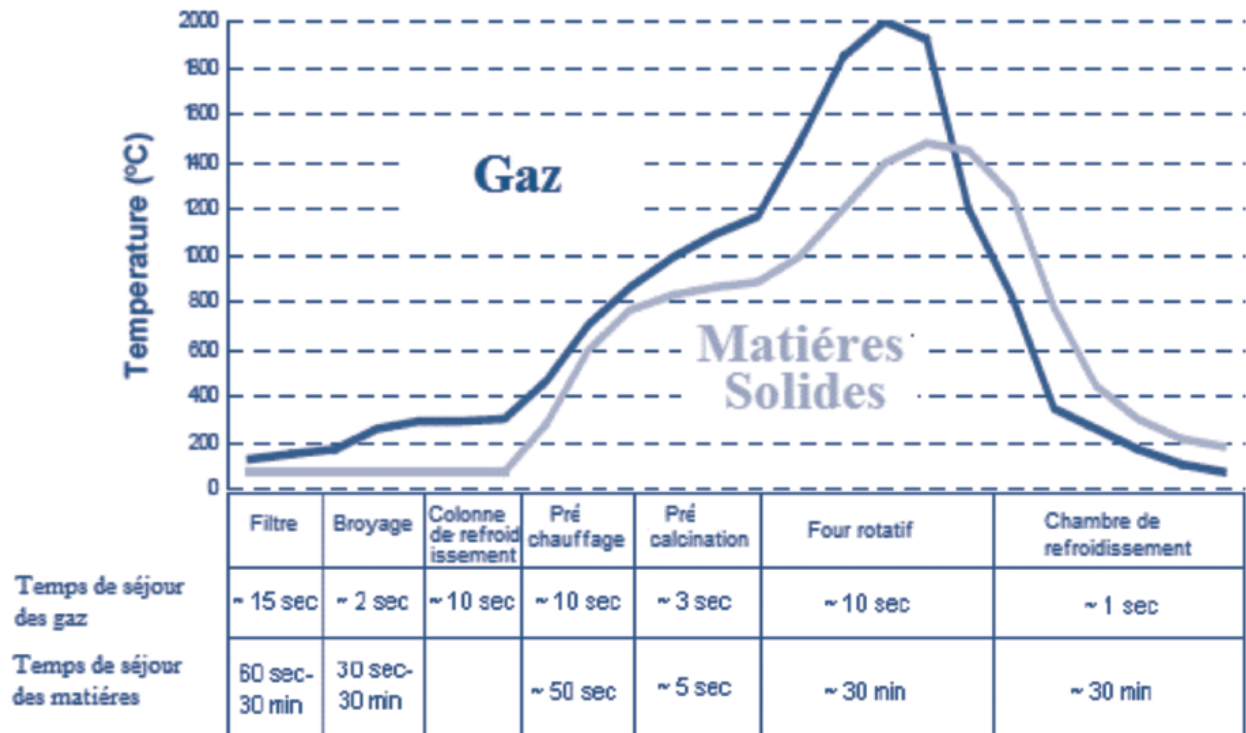
Des estimations actuelles suggèrent que l'industrie du ciment peut augmenter son efficacité énergétique de 0,5 à 2% par an, en remplaçant les équipements vieux ou périmés. Si de nouvelles usines utilisant la voie sèche remplaçaient des unités à voie humide plus anciennes, des gains significatifs d'efficacité énergétique seraient possibles (CSI 2005).

5.3 Emissions de PCDD/PCDF

5.3.1 Formation des PCDD/PCDF

Tout apport de chlore, en présence de matériaux organiques, peut potentiellement mener à la formation de dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD) et de dibenzofuranes polychlorés (PCDF) lors des procédés thermiques (combustion). Les PCDD/PCDF peuvent être formés dans, ou après, le four de préchauffage et dans le dispositif de contrôle de la pollution de l'air si les précurseurs de chlore ou d'hydrocarbures dans les matières premières sont disponibles en quantités suffisantes dans une gamme de température s'échelonnant de 200°C à 450°C. Le graphe de l'évolution de la température en fonction des temps typiques de séjour dans un four de fabrication de clinker avec préchauffage et pré-calcination cycloniques est présenté à la Figure 3 (Fabrellas *et al.* 2004).

■ Figure 3. Evolution de la température en fonction des temps de séjour dans un four de fabrication de clinker avec préchauffage et pré-calcination cycloniques



Source: Fabrellas et al. 2004.

5.3.2 Etudes sur les émissions de PCDD/PCDF dans l'air

Un aperçu complet des émissions de PCDD/PCDF des fours à ciment, dans les pays développés et en voie de développement, est donné dans: Karstensen 2006. Les données rassemblent plus de 2'200 mesures faites dans divers fours, avec et sans l'utilisation d'un large éventail de matières premières, couvrant la période du début des années '90 jusqu'à aujourd'hui. Le Tableau 1 récapitule les résultats des mesures de PCDD/PCDF; quelques exemples sont décrits en plus de détails ci-dessous.

■ **Tableau 1. Résumé des mesures de PCDD/PCDF**

Pays ou société	Substitution de combustibles et de matières premières?	Concentration de PCDD/PCDF^a, en ng I-TEQ/m³	Nombre de mesures	Facteur d'émission µg I-TEQ/tonne de ciment^a
Australie	Oui	0,001–0,07	55	0,0032–0,216
Belgique	Oui	<0,1	23	
Canada	Oui	0,0054–0,057	30	
Chili	Oui	0,0030–0,0194	5	
Colombie	Oui	0,00023–0,0031	3	
Danemark	Oui	<0,0006–0,0027	?	
Egypte	Oui	<0,001	3	
Europe	Oui	<0,001–0,163	230	<0,001–5
Allemagne 1989–1996	Oui	0,02	>150	
Allemagne 2001	Oui	<0,065	106	
Holcim 2001	Oui	0,0001–0,2395	71	0,104 (clinker)
Holcim 2002	Oui	0,0001–0,292	82	0,073 (clinker)
Holcim 2003	Oui	0,0003–0,169	91	0,058 (clinker)
Heidelberg	Oui	0,0003–0,44	>170	
Japon	Oui	0–0,126	164	
Lafarge	Oui	0,003–0,231	64	
Mexico	Oui	0,0005–0,024	3	
Norvège	Oui	0,02–0,13	>20	0,04–0,40
Philippines	Oui	0,0059–0,013	5	
Pologne	Oui	0,009–0,0819	7	
Portugal		0,0006–0,0009	4	
RMC	Oui	0,0014–0,0688	13	
Siam Cement Co.	Oui	0,0006–0,022	4	
Afrique du Sud	(Oui)	0,00053–0,001	2	
Espagne	Oui	0,00695	89	0,014464
Spain Cemex	Oui	0,0013–0,016	5	
Spain Cimpor	Oui	0,00039–0,039	8	
Taiheiyō	Oui	0,011	67	
Thaïlande	Oui	0,0001–0,018	12	0,00024–0,0045
Royaume-Uni	Oui	0,012–0,423	14	<0,025–1,2
Uniland		0,002–0,006	2	0,005–0,011
USA ^b	Oui	0,004– ~ 50	~ 750	<0,216–16,7
Venezuela	Oui	0,0001–0,007	5	
Vietnam		0,0095–0,014	3	

a. Les chiffres sont donnés soit comme une fourchette, soit comme valeur moyenne, et se réfèrent à 10 ou 11% d'O₂, selon les réglementations nationales.

b. Les chiffres élevés des Etats-Unis se réfèrent aux mesures obtenues dans les années '90; le nombre de mesures est approximatif.

Source: Karstensen 2006b.

Dans une récente étude menée par Cembureau, des mesures d'émission de PCDD et PCDF sur 110 fours à ciment dans 10 pays ont été présentées. Les pays couverts par cette étude étaient la République Tchèque, le Danemark, la France, l'Allemagne, la Hongrie, l'Italie, les Pays Bas, la Norvège, l'Espagne et le Royaume-Uni. La concentration moyenne, tenant compte de toutes les données, était de 0,016 ng I-TEQ/m³. La fourchette entre les concentrations les plus basses et les plus élevées allait de <0,001 ng I-TEQ/m³ à 0,163 ng I-TEQ/m³ (Karstensen 2006b). Toutes les mesures ont été exprimées dans les conditions standards (gaz sec, 273 K, 101,3 kPa et 10% d'O₂).

La Holcim Cement Company exploite des fours à ciment dans le monde entier. Un rapport récent de Holcim donne pour 2001 et 2002 des valeurs moyennes en PCDD/PCDF, de 0,041 ng TEQ/Nm³ (71 fours) et de 0,030 ng TEQ/Nm³ (82 fours) respectivement. 120 de ces mesures proviennent de pays faisant partie de l'OCDE, avec une valeur moyenne de 0,0307 ng TEQ/Nm³; les valeurs minimales et maximales étaient respectivement de 0,0001 et de 0,292 ng TEQ/Nm³, avec neuf grands fours voie humide ayant des valeurs au-dessus de 0,1 ng TEQ/Nm³. La valeur moyenne des 29 mesures effectuées dans des pays hors OCDE était de 0,0146 ng TEQ/Nm³; les valeurs minimales et maximales étaient respectivement de 0,0002 et de 0,074 ng TEQ/Nm³, aucune mesure n'étant au-dessus de 0,1 ng TEQ/Nm³ (Karstensen 2006b). Le Tableau 1 résume les résultats des mesures de PCDD/PCDF rapportées.

L'expérience montre qu'avec des températures relativement élevées dans l'électrofiltre et l'utilisation de matières premières riches en éléments organiques, des émissions élevées de produits chimiques inscrits à l'Annexe C étaient possibles.

En 2004, les émissions de PCDD/PCDF dans un four long à voie sèche au Royaume-Uni, ont atteint des pics à 136 ng TEQ/m³ et accusaient une moyenne de plus 50 ng TEQ/m³ sur une année, avec des émissions totale de plus de 40 g TEQ. Le four, maintenant fermé, fonctionnait avec des températures relativement élevées au niveau de l'électrofiltre, et utilisait des matières première avec une forte teneur en matière organique, en même temps que des cendres volantes pulvérisées⁴.

Les données recueillies auprès de plusieurs fours aux Etats-Unis montrent des émissions de PCDD/PCDF aussi élevées que 1,76 ng TEQ/m³, lorsque les dispositifs de contrôle de la pollution de l'air fonctionnent à 200°–230°C⁵. Les essais aux Etats-Unis indiquaient également des émissions plus importantes pour certains fours lorsque des déchets dangereux étaient brûlés.

Dans des études faites aux Etats-Unis et en Allemagne, une corrélation positive a été observée entre la concentration des émissions des PCDD et la température de l'électrofiltre/cheminée. Dans les essais aux Etats-Unis sur une seule installation, la température enregistrée dans l'électrofiltre était comprise entre 255°C et 400°C. Les émissions de PCDD étaient les plus élevées à 400°C, et diminuaient cinquante fois à

255°C. Cette corrélation a en général été observée dans toutes les installations testées. A des températures inférieures à 250°C, à l'entrée de l'électrofiltre/cheminée, il n'y avait pas de corrélation entre la température et les émissions de PCDD. Cela est conforme aux mécanismes connus de formation des PCDD à l'intérieur des systèmes d'incinération des déchets municipaux (Karstensen 2006b).

Des investigations plus détaillées ont suggéré – dans le cas d'une bonne combustion – que le principal facteur déterminant les concentrations de substances inscrites à l'Annexe C dans les gaz de cheminée, est la température de fonctionnement du dispositif de récupération de la poussière dans le système d'épuration des gaz. Les usines équipées d'électrofiltres fonctionnant à basse température (200°C ou moins) semblent présenter des niveaux d'émission faibles, qu'elles utilisent ou non des déchets comme combustibles (UNEP 2003).

Les conséquences possibles de l'injection de différents déchets au niveau du préchauffage/pré-calcination à basse température ont été étudiées par Lafarge, et les résultats sont présentés dans le Tableau 2. Les déchets injectés à mi-chemin ou à la fin de l'alimentation ne subissent pas de températures aussi élevées, ni des temps de séjour aussi longs, que des déchets introduits à l'extrémité chaude. Le niveau observé des concentrations en PCDD/PCDF était faible dans tous les cas de mesures (Karstensen 2006b).

■ **Tableau 2. Injection de déchets au niveau du préchauffage/pré-calcination et influence sur les émissions de PCDD/PCDF**

Usine	Année	Type de combustible alternatif	Emissions de PCDD/PCDF en ng I-TEQ/Nm ³
1	2002	Farines animales, plastiques et textiles	0,0025
2	2002	Farines animales et sciures imprégnées	0,0033
3	2002	Charbon, plastiques et pneus	0,0021 & 0,0041
4	2002	Pneus	0,002 & 0,006
5	2002	Petcoke (coke de pétrole), plastiques et huiles usagées	0,001
6	2002	Petcoke, coques de tournesol et huiles usagées	0,012
7	2002	Copeaux de pneus	0,004 & 0,021
8	2002	Solvants	0,07
9	2002	Sciures imprégnées, et solvants	0,00003 & 0,00145
10	2002	Solvants	0,00029 & 0,00057
11	2002	Boues	<0,011
12	2002	Déchets automobiles et boues	0,0036 & 0,7 & 0,0032

Les données rapportées indiquent que les fours à ciment peuvent respecter un niveau d'émission de 0,1 ng I-TEQ/Nm³, qui est la valeur limite de la législation, dans plusieurs pays d'Europe occidentale pour les usines d'incinération de déchets dangereux.

5.3.3 Etude des rejets de PCDD/PCDF par les matières solides

Puisque les données pour les émissions par les cheminées montrent que les fours à ciment bien conçus et bien utilisés peuvent atteindre des concentrations très faibles de PCDD/PCDF, on peut également penser que de telles installations auront des niveaux faibles dans les poussières récupérées des systèmes de lavage des gaz. Les mêmes facteurs qui contribuent à de faibles niveaux d'émissions polluantes dans l'atmosphère, laissent penser que l'on trouvera de faibles concentrations dans les matières solides collectées. Les deux matières solides principales, produites dans les cimenteries, sont le clinker récupéré au niveau du refroidisseur, et les poussières extraites dans le dispositif de contrôle de pollution atmosphérique.

De nouvelles analyses sur les matières solides ont été recueillies auprès de plusieurs sociétés participant à la Cement Sustainability Initiative (CSI) (Karstensen 2006b). Le CSI a présenté des résultats sur les concentrations en PCDD/PCDF trouvées dans des poussières de clinker en 2005, dans huit usines. Quatre-vingt-dix échantillons ont montré une valeur moyenne de 6,7 ng I-TEQ/kg, apparemment fortement pondérée par quelques échantillons à niveau élevé. La concentration la plus élevée rapportée était de 96 ng I-TEQ/kg.

Huit sociétés de la CSI ont présenté des résultats sur les concentrations en PCDD/PCDF mesurées sur 57 échantillons de clinker en 2005. La valeur moyenne de tous les échantillons était de 1,24 ng I-TEQ/kg. Les échantillons de clinker provenaient de fours à préchauffage en suspension, à voie sèche et à voie humide. La concentration la plus élevée trouvée était de 13 ng I-TEQ/kg.

Deux sociétés de la CSI ont fait état en 2005 de concentrations de PCDD/PCDF dans 11 échantillons de matière alimentant des fours, composés de farines animales, de granules, de boue et de composants des matières premières. La valeur moyenne de ces échantillons était de 1,4 ng I-TEQ/kg. Ces échantillons provenaient de fours à préchauffage en suspension, à voie sèche et à voie humide. La concentration la plus élevée rapportée était de 7,1 ng I-TEQ/kg.

5.4 Rejets de PCB et de HCB

L'hexachlorobenzène (HCB) et les PCB n'ont pas fait l'objet de contrôle réglementaire dans les usines de ciment jusqu'ici. La plupart des mesures qui ont été faites n'ont pas détecté d'émissions de HCB. En ce qui concerne les émissions PCB, 40 mesures effectuées dans 13 fours en Allemagne en 2001 ont indiqué une concentration maximale de 0,4 µg de PCB/Nm³; dans neuf de ces 40 mesures, aucun PCB n'a été détecté.

La co-incinération de pesticides au Vietnam a montré des émissions de PCB apparentés aux dioxines de 0,001 ng TEQ/m³ et des émissions de HCB en dessous de la limite de détection de 31 ng/m³ (Karstensen 2006b).

6. Meilleures techniques disponibles et meilleures pratiques environnementales

Les paragraphes suivants résument les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales pour les fours à ciment brûlant les déchets dangereux.

6.1 Mesures générales de gestion

6.1.1 Aspects législatifs

Un cadre législatif et réglementaire doit être mis en place pour assurer l'application, et pour garantir un niveau élevé de protection de l'environnement.

En outre, un régime de gestion des déchets qui souligne la hiérarchie de cette gestion, illustrée dans la Section III C (ii) sur la gestion de déchets, devrait être établi avant, ou en même temps que la désignation formelle des fours à ciment en tant que destinataires autorisés des déchets dangereux, que ce soit sous forme de combustibles dérivés de déchets ou de déchets à éliminer. Toutes les autorités compétentes doivent être impliquées dans la procédure d'autorisation, et à ce titre, entre autres actions, l'exploitant du four à ciment devra:

- Établir et maintenir une crédibilité à travers une communication ouverte, précise, coopérative et continue avec les autorités et le public;
- Fournir toutes les informations nécessaires pour s'assurer que les autorités peuvent évaluer la sécurité et les conséquences sur l'environnement du traitement des déchets dangereux;
- Établir des groupes publics consultatifs, dès le début du processus de planification;
- Les directives de Holcim et de la CSI représentent de bons conseils au sujet des meilleures pratiques environnementales dans le cadre de cette section.

6.1.2 Aspect environnementaux

L'incinération simultanée de divers déchets dangereux devrait seulement être entreprise si le four à ciment fonctionne selon les meilleures techniques disponibles décrites dans ces directives. Si certaines dispositions de qualité au niveau des déchets et de l'alimentation sont respectées, le co-traitement des déchets n'aura pas d'influence significative sur les émissions du four à ciment. Cependant, quelques combustibles peuvent contenir des métaux très volatils, tels que le mercure, qui a un faible coefficient de capture. Pour contrôler les émissions de mercure, il peut donc être nécessaire de limiter les entrées de mercure dans le four. Les combustibles alternatifs doivent respecter une procédure rigoureuse d'acceptation et d'inspection, avant leur utilisation.

La surveillance des combustibles de rechange est obligatoire afin de démontrer la conformité aux lois, aux règlements et aux accords en vigueur.

6.1.3 Aspects opérationnels

Les opérateurs doivent s'assurer que seuls les déchets dangereux provenant de Parties dignes de confiance seront acceptés, en tenant compte de l'intégrité de tous les participants de la chaîne d'approvisionnement. La traçabilité des déchets doit être assurée par le service de réception, et les livraisons non-conformes doivent être refusées.

Le transport, la manipulation et le stockage des matériaux doivent être surveillés efficacement, et la totale conformité aux exigences réglementaires doit être assurée. Ce travail inclut l'analyse et la présentation de rapports pour des paramètres tels que la valeur calorifique, la teneur en eau, la teneur en métaux lourds, la teneur en cendres et les quantités de soufre et de chlore présentes. De plus, des échantillons témoins devraient être stockés pendant une période déterminée.

6.1.4 Aspect de santé publique et de sécurité

La convenance du site de production doit être évaluée pour éviter les risques liés à son emplacement (proximité d'habitations de personnes, impact potentiel des rejets, logistique, et transport), et à l'infrastructure (dégagements potentiels de vapeurs et d'odeurs, ou possibilités de fuites qui pourraient dégager des émissions dangereuses ou d'autres substances problématiques pour l'environnement, exigeant un contrôle en appliquant des solutions techniques).

Il est obligatoire de mettre en place: une documentation et une information adéquates sur la manipulation sans risque des combustibles dérivés de déchets, les procédures opératoires, et les mesures à prendre dans l'éventualité d'accidents. Le personnel de gestion de l'installation doit assurer que les équipes de travail reçoivent une information franche et transparente, sur les mesures et normes concernant la santé et la sécurité. Il est essentiel que les employés, les autorités de surveillance et les services d'intervention (par exemple départements du feu) reçoivent ces informations bien avant que la combustion de déchets, y compris les déchets dangereux, débute dans un four à ciment.

6.1.5 Questions de communication et de responsabilité sociale

Dans l'intérêt de la franchise et de la transparence, l'opérateur de la cimenterie qui a l'intention de manipuler et de co-incinérer des déchets, y compris des combustibles dangereux ou dérivés de déchet, doit fournir toutes les informations nécessaires pour permettre aux parties prenantes de comprendre le but de l'utilisation des déchets dangereux dans le four à ciment, et pour les mettre au courant des points suivants: les moyens mis en œuvre pour éviter des impacts défavorables pour le public et pour l'environnement, les tâches incombant aux parties impliquées, et les procédures de prise de décision. En résumé, les aspects suivants de gestion générale devraient être pris en considération:

- Infrastructure générale, revêtement du sol, ventilation;
- Bonne tenue du site et des installations;
- Contrôle général et suivi des paramètres de performance de base;
- Contrôle et réduction des émissions dans l'air (NO_x , SO_2 , particules, métaux);
- Développement du suivi environnemental (création de protocoles de suivi standards);
- Développement de systèmes d'audit et de transmission de l'information;
- Mise en œuvre de systèmes d'agrémentation et d'audit, pour l'utilisation des déchets et de combustibles de rechange;
- Démonstration, par le suivi des émissions, qu'une installation peut atteindre une valeur limite d'émission donnée;
- Dispositions pour l'hygiène et la sécurité du travail: Les cimenteries qui utilisent comme combustible des déchets et des combustibles alternatifs, doivent adopter des procédures appropriées pour protéger le personnel manipulant ces matériaux pendant l'étape de chargement;
- Qualification et formation suffisantes du personnel.

6.2 Mesures spécifiques

Pour de nouvelles installations, et des améliorations majeures à des unités existantes, on considère que les meilleures techniques disponibles pour la production de clinker sont représentées par un four à voie sèche, avec préchauffage et pré-calcination à étages multiples. Pour les installations existantes, une reconstruction partielle (et peut-être considérable) sera nécessaire.⁶

6.2.1 Mesures primaires et optimisation du procédé

6.2.1.1 Optimisation du procédé

- S'assurer du refroidissement rapide à moins de 200°C des gaz sortant du four;
- Caractériser les paramètres qui correspondent à un bon fonctionnement, et les utiliser comme base pour améliorer d'autres paramètres opératoires de performance. Ayant caractérisé de bons paramètres opératoires, établir des données de référence en ajoutant des doses contrôlées de déchets, et évaluer quels sont les changements et les contrôles et procédures nécessaires pour contrôler les émissions;
- Gérer le procédé de fabrication pour obtenir et maintenir un mode opératoire stable, par exemple en optimisant le contrôle du procédé (y compris la mise en place de systèmes de contrôle automatisé par ordinateur) et par l'utilisation de systèmes de chargement modernes et gravimétriques pour les combustibles solides;
- Minimiser dans la mesure du possible, les dépenses en énergie au moyen de systèmes de préchauffage et de pré-calcination, en tenant compte de la configuration du four actuelle; utiliser des refroidisseurs de clinker modernes, permettant de récupérer le maximum de chaleur des gaz émis;

Le contrôle des substances chimiques inscrites à l'Annexe C: Les mesures indirectes pour le contrôle des substances chimiques inscrites à l'Annexe C constituent un élément important de contrôle intégré des émissions. De telles mesures sont en général applicables, et assez facile à mettre en œuvre techniquement.

6.2.1.2 Préparation des déchets dangereux

Le prétraitement des déchets, y compris des déchets dangereux, avec l'objectif de fournir une charge plus homogène et donc des conditions plus stables de combustion peut ainsi, selon la nature du combustible dérivé des déchets, impliquer le séchage, le déchiquetage, le mélange ou le broyage (voir également la section 3.4). Il est important de porter une attention particulière:

- Au bon entretien, à la bonne tenue et à de bonnes procédures adaptés à la réception, à la manipulation et au stockage des déchets, au fur et à mesure qu'ils arrivent sur le site, ainsi que des équipements appropriés spécifiques pour le stockage provisoire, tenant compte des risques et des caractéristiques de chaque déchet;

- Bon entretien, bonne tenue et bonnes procédures opératoires; aussi, utilisation d'équipements de stockage bien conçus, spécifiques pour le stockage du combustible alternatif.

Ces mesures ne sont pas nécessairement spécifiques au contrôle de produits chimiques de l'Annexe C qui sont à éliminer ou à réduire, mais sont des éléments essentiels d'une stratégie intégrée de contrôle des émissions.

6.2.1.3 Contrôle des charges

- Des fournitures fiables à long terme d'un déchet donné ou de combustibles alternatifs (par exemple une fourniture d'un mois ou plus à l'avance) sont nécessaires pour maintenir des conditions stables pendant l'opération;
- Les substances entrant dans le four devraient être soigneusement sélectionnés et contrôlés; des spécifications devront être définies, en se basant sur des considérations de produit/procédé ou d'émission, et être suivies;
- Apport régulier de combustible alternatif, avec spécifications pour les métaux lourds, le chlore, le soufre;
- Aucune alimentation en combustibles dérivés de déchets, pendant la période d'allumage et d'arrêt;
- Il faut éviter de charger des matières premières comprenant des déchets contenant des matières organiques qui pourraient agir en tant que précurseurs;
- Les déchets halogénés doivent être chargés au niveau du brûleur principal;
- En général les déchets devraient être alimentés au niveau du brûleur principal, ou du brûleur secondaire pour les fours à préchauffage/pré-calcination. Pour le brûleur secondaire, il faut s'assurer que la température de la zone de combustion est maintenue $>850^{\circ}\text{C}$ pendant un temps de résidence suffisant (2 s);
- Les déchets chargés contenant des composés organiques, qui pourraient agir en tant que précurseurs, ne doivent pas être incorporés au mélange de départ;
- Des combustibles dérivés de déchets ne doivent jamais être utilisés pendant les opérations de mise en route et d'arrêt.

Contrôle des substances chimiques inscrites à l'Annexe C: Les mesures indirectes pour le contrôle des substances chimiques inscrites à l'Annexe C constituent un élément important du contrôle intégré des émissions. De telles mesures sont applicables en général et sont assez faciles à appliquer sur le plan technique.

6.2.1.4 Stabilisation des paramètres du procédé

Il est important pour la stabilité de la combustion et du procédé de s'assurer:

- De l'uniformité des caractéristiques des combustibles (aussi bien de substitution que fossiles);

- De la régularité des taux d’approvisionnement en combustibles, ou des fréquences d’introduction des matières chargées de manière discontinue;
- D’un excès d’oxygène suffisant assurant une combustion complète;
- Que les concentrations de CO dans les gaz de procédé sont suivies, et qu’elles n’excèdent pas des niveaux mesurés au préalable reflétant une combustion incomplète;

Contrôle des substances chimiques inscrites à l’Annexe C: Les mesures indirectes pour le contrôle de telles substances chimiques sont des éléments importants d’une stratégie globale de contrôle des émissions. De telles mesures sont généralement applicables, et aident à assurer des conditions de fonctionnement stables.

6.2.1.5 Modification du procédé

La poussière dans les gaz émis (également connue sous le nom de poussière de cimenterie) doit être contrôlée soigneusement. Dans beaucoup de cas elle peut être réintroduite dans le four dans la mesure où cela a été démontré faisable; ceci évite des émissions excessives de métaux volatils et de sels alcalins. Lorsqu’il est possible d’optimiser cette re-circulation, ceci contribuera à réduire les problèmes liés à l’élimination des poussières. Les poussières qui ne peuvent pas être réintroduites doivent être contrôlées de telle sorte à démontrer qu’elles ne présentent pas de risque. Selon le niveau de contamination qui pose problème (par exemple, métaux lourds, polluants organiques persistants), ces matières peuvent être dans certains cas considérées comme déchets dangereux, et imposeront ainsi des mesures réglementaires spéciales de manipulation et d’élimination, selon leurs caractéristiques.

Contrôle des substances chimiques inscrites à l’Annexe C: Les mesures indirectes pour le contrôle de telles substances chimiques sont un élément important d’une stratégie intégrée de contrôle d’émission.

6.2.1.6 Résumé des mesures primaires

En général, les mesures primaires mentionnées ci-dessus suffisent pour atteindre un niveau d’émission inférieur à 0,1 ng TEQ/Nm³, dans les gaz de combustion pour les nouvelles installations et celles existantes. Si toutes ces options ne mènent pas à une performance inférieure à 0,1 ng TEQ/Nm³, on peut envisager les mesures secondaires décrites ci-dessous.

6.2.2 Mesures secondaires

Les mesures secondaires décrites ci-dessous sont normalement installées dans les fours à ciment pour contrôler les polluants, autres que les polluants organiques persistants formés de manière non-intentionnelle, mais elles peuvent mener à une réduction simultanée des émissions de substances chimiques inscrites à l’Annexe C.

6.2.2.1 Amélioration supplémentaire de la diminution et du recyclage de la poussière

Ces mesures ne réduiront pas de manière significative les niveaux des produits chimiques inscrits à l'Annexe C et présents dans les gaz. En conséquence, l'efficacité de cette stratégie diminuera généralement avec l'augmentation de la température des équipements d'extraction des poussières. Si l'on passe d'un système sans circulation, à un système de re-circulation totale des poussières, il y aura un changement dans la composition chimique de ces poussières avec le temps, augmentant le contenu alcalin et remettant en cause le fonctionnement du procédé; une certaine fraction de la poussière récupérée doit être retirée; quand des taux élevés de recyclage sont pratiqués, la poussière est susceptible d'être enrichie en métaux lourds semi-volatils et volatils, exigeant des procédures de manipulation soignées, et une élimination fiable dans une installation conçue pour traiter ou contenir les déchets dangereux. Applicabilité générale; besoins modérés au niveau de la technique de construction; bonne extraction de la fraction des produits chimiques inscrits à l'Annexe C qui sont fixés aux particules.

Des fours rotatifs sont généralement équipés d'électrofiltres, à cause des températures relativement élevées des gaz de sortie. Des filtres à tissu sont également utilisés, en particulier sur les fours à préchauffage, où les températures des gaz sont plus faibles.

Des fours verticaux sont habituellement équipés de filtres en tissu. Des épurateurs humides sont parfois utilisés. Les unités de broyage de chaux utilisent ces filtres à tissu pour collecter le produit et pour dépoussiérer l'air environnant. Les unités d'hydratation, avec des gaz saturés en vapeur d'eau à environ 90°C, sont généralement équipées d'épurateurs humides, bien que les filtres en tissu soient de plus en plus utilisés dans les cas où la chaux injectée a une réactivité élevée.

Des informations fournies par l'Union Européenne (European Commission 2001) indiquent que la matière particulaire peut être efficacement extraite par application:

- d'électrofiltres associés à des équipements de mesure et de contrôle rapides pour réduire le nombre de passages de CO;
- de filtres en tissu à compartiments multiples, et avec détecteurs de rupture du tissu.

Le niveau d'émission lié à ces meilleures techniques disponibles est de 20-30 mg poussière/m³, sur une base moyenne quotidienne. Ce niveau d'émission peut être atteint par des électrofiltres ou avec des filtres en tissu sur divers types d'installations dans l'industrie du ciment.

6.2.2.2 Injection de charbon actif

Quand les filtres en tissu sont utilisés pour le contrôle des particules émises, il est possible d'injecter du charbon actif en poudre en amont du filtre en tissu, et de réaliser une très bonne extraction des métaux et des composés organiques. Les polluants sont extraits par adsorption sur la surface du carbone, à la fois pendant qu'il est dispersé dans le flux gazeux, et également pendant que le flux gazeux traverse le gâteau de filtration formé à l'intérieur des sacs de filtres en tissu. Une basse température de fonctionnement est la clef à la réussite de cette technique, puisque dans l'intervalle de température pour la

synthèse *de novo* (250°-400° C), le charbon actif pourrait servir de source de carbone pour la formation de PCDD/PCDF. Le charbon actif est aussi plus efficace pour adsorber les métaux et les PCDD/PCDF aux températures en dessous de 200° C. En même temps, la température doit être maintenue au-dessus du point de condensation pour les gaz d'échappement, afin d'éviter la condensation et le colmatage des sacs. Une température de fonctionnement aux alentours de 160° C est généralement employée, bien qu'avec un suivi soigné, des valeurs légèrement plus basses puissent être réalisées. Le contrôle de température est habituellement effectué par un refroidissement par évaporation, et le carbone est typiquement injecté dans le refroidisseur par évaporation, ou juste en aval de celui-ci. Il est à noter que si la poussière du four à ciment doit être réutilisée dans le four, cette technique peut ne pas être très efficace pour la régulation des émissions de mercure, car le mercure déposé sera à nouveau libéré dans le four, et le flux des poussières en excès, soutiré pour élimination, devra peut-être représenter une fraction plus importante afin d'assurer un contrôle efficace.

Cette technique a une applicabilité générale pour la contrôle des produits chimiques inscrits à l'Annexe C, avec une très bonne extraction (>90%) quand les températures de fonctionnement sont optimisées correctement; elle a des besoins en construction qui vont de faibles à modérés, et est mieux adaptée à une situation de réhabilitation d'usine que les deux options suivantes.

6.2.2.3 Filtre à charbon actif

Cette mesure permet un rendement d'épuration élevé pour les traces de polluants (>90% généralement; <99% pour certains composés). Les polluants comme le dioxyde de soufre (SO₂), des composés organiques, des métaux, l'ammoniaque (NH₃), des composés d'ammoniaque (NH₄⁺), l'acide chlorhydrique (HCl), l'acide fluorhydrique (HF), et la poussière résiduelle (après un électrofiltre ou un filtre en tissu) peuvent être séparés des gaz sortant du four par adsorption sur un lit de charbon actif. Le seul filtre à charbon actif installé pour l'industrie du ciment en Europe se trouve à la cimenterie de Siggenthal, en Suisse. L'unité de Siggenthal dispose d'un four de préchauffage à quatre chambres cycloniques, et atteint une capacité de production de 2'000 tonnes de clinker par jour. Des mesures ont montré des rendements d'épuration élevés en ce qui concerne le SO₂, les métaux et les PCDD/PCDF (European Commission 2001).

Contrôle des substances chimiques inscrites à l'Annexe C: applicabilité générale, technique de construction exigeante.

6.2.2.4 Réduction catalytique sélective

En général, la réduction catalytique sélective s'applique pour le contrôle des NO_x. Le procédé réduit le NO et le NO₂ en N₂ utilisant le NH₃ comme agent réducteur, en présence d'un catalyseur approprié, dans une zone de températures d'environ 300° à 400°C, ce qui nécessiterait le réchauffement des gaz sortant dans le cas d'un four typique. Une partie seulement des catalyseurs capables de réduire les oxydes d'azote est aussi applicable pour la destruction des polluants de l'Annexe C tels que les PCDD/PCDF. Jusqu'à maintenant, la réduction catalytique sélective a seulement été testée sur des systèmes de four avec préchauffage et des fours voie sèche (Lepol), mais elle pourrait s'appliquer également à d'autres systèmes de fours (European Commission 2001). Ses

coûts en investissement élevés, associés à des coûts énergétiques significatifs pour le réchauffement des gaz émis qui est nécessaire pour son fonctionnement, pourrait rendre cette solution non viable pour des applications normales. La première unité à l'échelle industrielle (Solnhofer Zementwerke) fonctionne depuis fin 1999 (IPTS 2004).

Contrôle des substances chimiques inscrites à l'Annexe C: techniques de construction et coûts investissement/opératoire exigeants; excellente amélioration attendue du contrôle des substances chimiques inscrites à l'Annexe C, à l'aide de catalyseurs sélectionnés de manière appropriée.

6.2.2.5 Injection de charbon actif, une technologie émergente

Il est possible d'injecter le charbon actif en poudre en amont du filtre à tissu et de réaliser une bonne extraction des métaux et des composés organiques. Cependant, les remarques suivantes sont à retenir:

- Une température faible de fonctionnement, <160°C, est cruciale pour une mise en œuvre réussie de cette technique;
- En même temps, la température doit être maintenue au dessus du point de rosée des acides pour éviter condensation et corrosion;
- Si la poussière de four à ciment doit être recyclée, ce qui est habituellement le cas, cette technique ne sera pas efficace pour le contrôle des émissions de mercure, car le mercure déposé sera à nouveau sublimé dans le four;
- Cette technologie d'injection de charbon actif n'a pas été prouvée pour le contrôle des émissions de PCDD/PCDF dans les cimenteries, et a seulement été appliqué dans des incinérateurs de déchets municipaux.

7. Exigences de performance basées sur les meilleures techniques disponibles

Les exigences de performance basées sur les meilleures techniques disponibles pour le contrôle des PCDD/PCDF dans les gaz de cheminée, devraient être <0,1 ng TEQ/Nm³ dans les conditions de référence: 273 K, 101,3 kPa, 11% O₂ et base de gaz sec.

8. Suivi du procédé et des paramètres opératoires

Pour contrôler le procédé dans le four, des mesures en continu sont recommandés pour les paramètres suivants (European Commission 2001):

- Pression;
- Température;
- Teneur en O₂;
- NO_x;
- CO, et si possible quand la concentration en SO_x est élevée;
- SO₂ (une technique est en cours de développement pour optimiser CO avec NO_x et SO₂).

En plus de ces paramètres, la teneur en mercure doit être contrôlée (si celle dans les déchets est élevée).

Pour quantifier les émissions avec précision, des mesures en continu des paramètres suivants sont recommandées (il faudrait peut-être les mesurer à nouveau si leurs niveaux changent, après le point où ils sont mesurés lors des contrôles):

- Volume de gaz produit (peut être calculé, mais le procédé est souvent considéré comme étant compliqué);
- Humidité;
- Température à l'entrée du dispositif de contrôle de la matière particulaire;
- Matière particulaire/poussière;
- O₂;
- NO_x;
- Poussières
- SO₂;
- CO.

Un contrôle périodique et régulier est la meilleure technique disponible pour les substances suivantes:

- Métaux et leurs composés;
- Total des composés carbone organique et composés organiques;
- HCl, HF;
- NH₃;
- PCDD/PCDF.

Des mesures des substances suivantes peuvent être exigées occasionnellement lors de conditions de fonctionnement spéciales:

- Destruction et rendement d'épuration, dans le cas de rejets de polluants organiques persistants des fours à ciment;
- Benzène, toluène, xylène;
- Hydrocarbures polycycliques aromatiques;
- Autres polluants organiques (par exemple, chlorobenzènes, PCB, y compris congénères coplanaires, chloronaphtalènes).

Il est particulièrement important de mesurer les teneurs en métaux quand des déchets à teneur en métal plus élevée sont utilisés comme matières premières ou comme combustibles.

Références

Basel Convention Secretariat. 2005. *General Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of Wastes Consisting of, Containing or Contaminated with Persistent Organic Pollutants (POPs)*. Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal, UNEP, Geneva.

Cembureau. 2004. *Guidelines on Co-Processing of Waste Materials in Cement Production*. Cembureau, Brussels, Belgium.

CEN (European Committee for Standardization). 1996a. "EN 1948-1: Sampling." Part 1 of *Stationary Source Emissions: Determination of the Mass Concentration of PCDDs/PCDFs*. CEN, Brussels, Belgium.

CEN (European Committee for Standardization). 1996b. "EN 1948-2: Extraction and Clean-up." Part 2 of *Stationary Source Emissions: Determination of the Mass Concentration of PCDDs/PCDFs*. CEN, Brussels, Belgium.

CEN (European Committee for Standardization). 1996c. "EN 1948-3: Identification and Quantification." Part 3 of *Stationary Source Emissions: Determination of the Mass Concentration of PCDDs/PCDFs*. CEN, Brussels, Belgium.

CSI (Cement Sustainability Initiative). 2005. *Guidelines for the Selection and Use of Fuels and Raw Materials in the Cement Manufacturing Process: Fuels and Raw Materials*. World Business Council for Sustainable Development, Geneva, Switzerland.

de Bas P. 2002. *The Economics of Measurement of Emissions into the Air*. European Measurement Project. Pembroke College, Oxford, UK.

DFIU/IFARE (French-German Institute for Environmental Research). 2002. *Cement/Lime Industry*. Draft Background Document in preparation for 5th EGTEI Panel Meeting, 29 November 2002. www.citepa.org/forums/egtei/cement_lime_draft.pdf.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 1998a. *Technical Background Document on Control of Fugitive Dust at Cement Manufacturing Facilities*. Draft. EPA, Office of Solid Waste, Washington, D.C.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 1998b. *Technical Background Document on Ground Water Controls at CKD Landfills*. Draft. EPA, Office of Solid Waste, Washington, D.C.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 1999. *National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Source Categories: Portland Cement Manufacturing Industry: Final Rule*. 40 CFR part 63, 14 June 1999. EPA, Washington, D.C.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 2000. "Combustion Sources of CDD/CDF: Other High Temperature Sources." Chapter 5, *Exposure and Human Health Reassessment of 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) and Related Compounds, Part I: Estimating Exposure to Dioxin-Like Compounds*. EPA/600/P-00/001Bb. EPA, Washington, D.C., September 2000.

European Commission. 2001. *Reference Document on the Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain.

Fabrellas B., Larrazabal D., Martinez M.A., Sanz P., Ruizl M.L., Abad E. and Rivera J. 2004. "Global Assessment of PCDD/PCDF Emissions from the Spanish Cement Sector: Effect of Conventional/Alternative Fuels." *Organohalogen Compd.* 66:905–911.

Holcim. *Sustainable Development: Environmental Performance*. www.holcim.com.

Holsiepe D., Shenk R. and Keefe B. 2001. *Partners in Progress: A Case Study on Upgrading for the New Millennium, Part 1*. Cement Americas.

cementtour.cementamericas.com/ar/cement_partners_progress_case_2/.

IPTS (Institute for Prospective Technological Studies). 2004. *Promoting Environmental Technologies: Sectoral Analyses, Barriers and Measures*. Draft Report EUR 21002 EN, European Communities.

Karstensen K.H. 2006a. *Cement Production in Vertical Shaft Kilns in China: Status and Opportunities for Improvement*. Report to the United Nations Industrial Development Organization, 31 January 2006.

Karstensen K.H. 2006b. *Formation and Release of POPs in the Cement Industry*. Second edition, January 2006. World Business Council for Sustainable Development/SINTEF.

Lohse J. and Wulf-Schnabel J. 1996. *Expertise on the Environmental Risks Associated with the Co-Incineration of Wastes in the Cement Kiln "Four E" of CBR Usine de Lixhe, Belgium*. Okopol, Hamburg, Germany. www.oekopol.de/Archiv/Anlagen/CBRBelgien.htm.

Portland Cement Association. *Industry Overview*. www.cement.org/basics/cementindustry.asp.

Sutou K., Harada H. and Ueno N. 2001. *Chlorine Bypass System for Stable Kiln Operation and Recycling of Waste*. Technical Conference on Cement Process Engineering, 21st Plenary Session of the VDZ Process Engineering Committee, Düsseldorf, Germany, 22 February 2001.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2003. *Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases*. UNEP, Geneva.

www.pops.int/documents/guidance/Toolkit_2003.pdf.

WISE (Waste Indicator System for the Environment). 2002. *Volume of Cement Kiln Dust Produced and Reused*. Indicators: Environmental Issue 1, Waste Generation. www.pepps.fsu.edu/WISE/.

Wulf-Schnabel J. and Lohse J. 1999. *Economic Evaluation of Dust Abatement in the European Cement Industry*. Report prepared for the European Commission DG XI, Contract No. B4-3040/98/000725/MAR/E1. www.oekopol.de/en/Archiv/archiv.htm.

Autres sources

Environment Canada. 1999. *Level of Quantification Determination: PCDD/PCDF and Hexachlorobenzene*. Environment Canada, Environmental Technology Centre, Analysis and Air Quality Division. www.ec.gc.ca/envhome.html.

Holcim. 2004. *Guidelines on Co-Processing of Waste Material in Cement Production*. Version 6. Cooperation of Holcim and GTZ, December 2004.

Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen. 1997. *Identification of Relevant Industrial Sources of Dioxins and Furans in Europe*. Commissioned by EC DG XI, LUA-Materialien No. 43. European Dioxin Inventory.

Marlowe I. and Mansfield D. 2002. *Toward a Sustainable Cement Industry*. Substudy 10: Environment, Health and Safety Performance Improvement. AEA Technology. www.wbcdcement.org/.

Stieglitz L., Jay K., Hell K., Wilhelm J., Polzer J. and Buekens A. 2003. *Investigation of the Formation of Polychlorodibenzodioxins/Furans and of Other Organochlorine Compounds in Thermal Industrial Processes*. Scientific Report FZKA 6867. Forschungszentrum Karlsruhe.

Notes

¹ Communication de CEMBUREAU (2006)

² Ce Document Référence est en cours de révision (2006)

³ Contribution de CEMBUREAU Cement & Lime BREF Revision Energy Efficiency; 15 May 2006

⁴ Communiqué par IPEN

⁵ 1 ng (nanogramme) = 1×10^{-12} kilogramme (1×10^{-9} gramme); Nm³ = mètre cube normal, volume de gaz sec mesuré à 0°C et 101.3 kPa. Pour des informations sur les mesures de toxicité voir section I.C, sous section 3 du présent document.

⁶ Le procédé par voie sèche est approprié uniquement dans le cas où l'on utilise le calcaire comme matière première pour le four. Il est possible d'utiliser une technologie de préchauffage/pré-calcination pour traiter le calcaire, en séchant la pâte de calcaire dans un séchoir-éclair situé à l'entrée du procédé.



<http://www.pops.int>

UNEP/SSC/BATBEP/2008/3

Section V.I.M
Section V.I.L
Section V.I.K
Section V.I.J
Section V.I.I
Section V.I.H
Section V.I.G
Section V.I.F
Section V.I.E
Section V.I.D
Section V.I.C
Section V.I.B
Section V.I.A
Section V.D
Section V.C
Section V.B
Section V.A
Sections I-IV

DIRECTIVES SUR LES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

**La production de pâte à papier utilisant le chlore
élémentaire, ou des substances chimiques
généralant du chlore élémentaire**



Le contenu de cette publication peut être reproduit à des fins éducatives ou sans but lucratif, dans son intégralité ou en partie, quelque soit le format, sans autre permission spéciale, pourvu que la source soit parfaitement identifiée. Le Secrétariat de la Convention de Stockholm et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) souhaiteraient recevoir une copie de tout ouvrage utilisant cette publication comme référence. Cette publication ne peut faire l'objet de revente ou toute autre activité commerciale sans l'accord préalable et par écrit du PNUE.

Publiée par le Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en octobre 2008. Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser au:

Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Genève, Suisse
ssc@pops.int - www.pops.int

Mise en page et impression par: SRO-Kundig - Genève

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

T A B L E D E S M A T I È R E S

SECTION I: INTRODUCTION

- I.A** OBJECTIF
- I.B** STRUCTURE DU DOCUMENT ET UTILISATION DES DIRECTIVES ET CONSEILS
- I.C** PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C: DÉFINITIONS, RISQUES, TOXICITÉ
- I.D** ARTICLE 5 ET L'ANNEXE C DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- I.E** LIEN AVEC LA CONVENTION DE BÂLE
- I.F** LIEN AVEC D'AUTRES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

SECTION II: CONSIDÉRATIONS D'ALTERNATIVES DANS L'APPLICATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

- II.A** CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES DANS LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- II.B** LA CONVENTION DE STOCKHOLM ET LES SOURCES NOUVELLES
- II.C** UNE APPROCHE À LA CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES
- II.D** AUTRES CONSIDÉRATIONS DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM

SECTION III: MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES: DIRECTIVES, PRINCIPES ET CONSIDÉRATIONS CROISÉES

- III.A** DIRECTIVES
- III.B** PRINCIPES ET APPROCHES GÉNÉRAUX
- III.C** CONSIDÉRATIONS CROISÉES:
 - (i) PRODUITS CHIMIQUES DE L'ANNEXE C: MÉCANISMES DE FORMATION
 - (ii) CONSIDÉRATIONS SUR LA GESTION DES DÉCHETS
 - (iii) EFFETS BÉNÉFIQUES ADDITIONNELS DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LES PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C
 - (iv) GESTION DES GAZ DE PROCÉDÉ ET D'AUTRES RÉSIDUS
 - (v) FORMATION DES DÉCIDEURS ET DU PERSONNEL TECHNIQUE
 - (vi) MESURES, SUIVI ET PRÉSENTATIONS DES RAPPORTS

SECTION IV: COMPILATION DES RÉSUMÉS DES CATÉGORIES DES SOURCES INCLUSES DANS LES SECTIONS V ET VI

RESUMES DE LA SECTION V: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

RESUMES DE LA SECTION VI: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

SECTION V: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DE SOURCES: CATEGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

- V.A** LES INCINÉRATEURS DE DÉCHETS
- (i) DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, DÉCHETS DANGEREUX ET DE BOUES D'ÉPURATION
 - (ii) DECHET MEDICAUX
- V.B** LE BRULAGE DE DÉCHETS DANGEREUX DANS LES FOURS A CIMENT
- V.C** LA PRODUCTION DE PÂTE À PAPIER UTILISANT LE CHLORE ÉLÉMENTAIRE, OU DES SUBSTANCES CHIMIQUES GÉNÉRANT DU CHLORE ÉLÉMENTAIRE
- V.D** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
- (i) PRODUCTION DU CUIVRE SECONDAIRE
 - (ii) USINES DE FRITTAGE DANS L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER
 - (iii) PRODUCTION D'ALUMINIUM SECONDAIRE
 - (iv) PRODUCTION DU ZINC SECONDAIRE

SECTION VI: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DES SOURCES: CATÉGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

- VI.A** LA COMBUSTION À CIEL OUVERT DE DÉCHETS, Y COMPRIS DANS LES DÉCHARGES
- VI.B** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE AUTRES QUE CEUX MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE C PARTIE II
- (i) PRODUCTION DU PLOMB SECONDAIRE
 - (ii) PRODUCTION D'ALUMINIUM PRIMAIRE
 - (iii) PRODUCTION DE MAGNESIUM
 - (iv) PRODUCTION D'ACIER SECONDAIRE
 - (v) PREMIERE FUSION DES METAUX DE BASE

VI.C	LES SOURCES DE COMBUSTION RÉSIDENTIELLES
VI.D	LA COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES DANS DES CHAUDIÈRES DE CENTRALES ET LES CHAUDIÈRES INDUSTRIELLES
VI.E	LES INSTALLATIONS DE BRÛLAGE DE BOIS ET DE COMBUSTIBLES ISSUS DE LA BIOMASSE
VI.F	LES PROCÉDÉS SPÉCIFIQUES DE PRODUCTION DE SUBSTANCES CHIMIQUES ENTRAÎNANT DES REJETS DE SUBSTANCES INSCRITES À L'ANNEXE C
VI.G	LES FOURS CRÉMATOIRES
VI.H	LES VÉHICULES À MOTEUR, NOTAMMENT CEUX UTILISANT DE L'ESSENCE AU PLOMB
VI.I	LA DESTRUCTION DE CARCASSES D'ANIMAUX
VI.J	LA TEINTURE DE TEXTILES OU DU CUIR (AU CHLORANILE) ET LA FINITION (EXTRACTION ALCALINE)
VI.K	LES INSTALLATIONS DE BROUAGE DES ÉPAVES DE VÉHICULES
VI.L	LE CHAUFFAGE LENT DE CÂBLES EN CUIVRE
VI.M	LES RAFFINERIES D'HUILES USÉES

T A B L E D E S M A T I È R E S

V. C. La production de pâte à papier utilisant le chlore élémentaire, ou des substances chimiques générant du chlore élémentaire	9
1. Introduction	9
1.1 Matières premières.....	11
1.2 Technologie et produit final	11
2. Description des procédés.....	12
2.1 Méthodes utilisées pour la fabrication de pâte	12
2.2 Le blanchiment	16
3. Meilleures techniques disponibles pour la fabrication de pâte utilisant du chlore élémentaire.....	20
3.1 Mesures primaires	20
3.2 Mesures secondaires	21
4. Alternatives	21
4.1 Blanchiment totalement sans chlore pour la pâte Kraft	21
4.2 Blanchiment totalement sans chlore (TCF) pour la pâte non-bois	23
5. Niveaux de performance atteignables, associés aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales.....	24
5.1 Présentation des résultats de performance	24
5.2 Normes de performance	24
Références	26
Autres sources	27

Tableaux

Tableau 1. Traitements chimiques couramment utilisés pour le blanchiment.....	17
Tableau 2. Résumé des normes de performances applicables aux usines de fabrication de pâte	25

Figures

Figure 1. Elimination du 2,3,7,8-TCDF avec une substitution croissante du chlore par le dioxyde de chlore	11
Figure 2. Schéma typique de déroulement pour le procédé Kraft avec blanchiment ECF.....	13
Figure 3. Schéma typique de déroulement pour la fabrication de pâte à partir de paille utilisant le système Pandia à digestion en continu	13

Figure 4.	Effet du multiple de chlore actif et du niveau de substitution de dioxyde de chlore sur la formation de 2,3,7,8-TCDD	19
Figure 5.	Tendances dans la production de pâte chimique: Monde, à l'exclusion de la Chine, et l'Inde	23

■ Résumé

Les principaux étapes dans la fabrication des produits à base de pâte et de papier sont la manipulation et la préparation des matières premières, le stockage (et la conservation pour les produits autres que le bois, appelés «*non-bois*»), la séparation de l'écorce, la mise en copeaux, l'enlèvement de résidus agricoles et des nœuds, la préparation et traitement de la pâte, le blanchiment si nécessaire, et finalement la fabrication du papier et du carton.

Dans la liste des substances inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm, seul les PCDD et les PCDF ont été identifiés comme étant produits pendant la fabrication de pâte utilisant le chlore élémentaire. Parmi les 17 PCDD/PCDF congénères ayant du chlore dans les positions 2,3,7 et 8 positions, seuls deux congénères – en l'occurrence le 2,3,7,8-TCDD et le 2,3,7,8-TCDF – ont été identifiés comme pouvant être produits pendant le blanchiment chimique utilisant le chlore. La plupart de la formation du 2,3,7,8-TCDD et du 2,3,7,8-TCDF a lieu dans l'étape-C du blanchiment par la réaction entre le chlore et les précurseurs de TCDD et TCDF. Le HCB et PCB ne sont pas formés pendant le blanchiment de la pâte.

En résumé, on peut considérer que les mesures suivantes peuvent être prises pour réduire ou empêcher la formation de 2,3,7,8-TCDD et de 2,3,7,8-TCDF dans les procédés de blanchiment de bois et de non-bois; ne pas l'utiliser le chlore élémentaire, en le remplaçant par le dioxyde de chlore (blanchiment sans chlore élémentaire), ou dans certains cas avec des procédés complètement sans chlore; réduire l'utilisation du chlore élémentaire en diminuant le multiple de chlore ou en augmentant la substitution du chlore moléculaire par le dioxyde de chlore; minimiser les précurseurs tels que le dibenzo-*p*-dioxine et le dibenzofurane entrant dans l'unité de blanchiment en n'utilisant que des additifs exempts de précurseurs et en lavant soigneusement; optimiser l'élimination des nœuds; et éliminer l'utilisation de matières premières contaminées aux phénols polychlorés.

1. Introduction

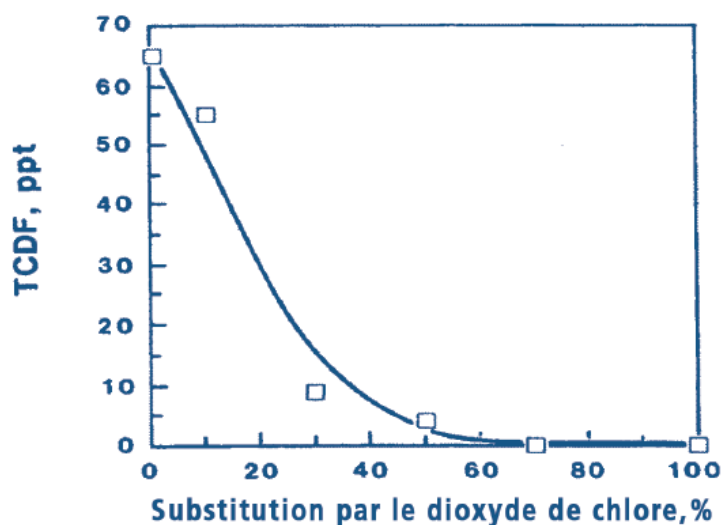
Les lignes directrices provisoires suivantes fournissent des conseils sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales pour le blanchiment chimique de pâte utilisant le chlore élémentaire ou des produits chimiques générant le chlore. A l'intérieur d'une usine de blanchiment de pâte, les PCDD/PCDF peuvent provenir de plusieurs différentes étapes du procédé: dans les effluents rejetés vers l'eau et la terre; des émissions vers l'air venant des chaudières de récupération (référence à la section VI.E.), et des résidus envoyés en décharge (référence à la section III.C. (ii) du présent document d'orientation).

Les substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm comprennent les dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD), les dibenzofuranes polychlorés (PCDF), l'hexachlorobenzène (HCB) et les polychlorobiphényles (PCB). De ceux-ci, ni le HCB ni les PCB n'ont été produits de manière intentionnelle pendant le blanchiment chimique de la pâte. En plus, de tous les 17 congénères PCDD/PCDF avec du chlore dans les positions 2,3,7 et 8, et qu'on estime capables de présenter une toxicité apparentée à celle des dioxines, seuls deux, le 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxine (2,3,7,8-TCDD) et le 2,3,7,8-tetrachlorodibenzofurane (2,3,7,8-TCDF), ont été identifiés comme étant produits pendant le blanchiment chimique de la pâte. Donc les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales dans le contexte du blanchiment chimique de la pâte utilisant le chlore élémentaire, ou des produits chimiques générant du chlore élémentaire, devront être orientées vers la réduction et l'élimination du 2,3,7,8-TCDD et du 2,3,7,8-TCDF. Les composés organiques halogénés adsorbables (AOX) ne sont pas en rapport avec les dioxines et furanes et ne sont donc pas considérés ici.

Dans le milieu des années '80, la découverte des dioxines et furanes dans les effluents des usines de pâte à papier utilisant du chlore et de l'hypochlorite dans leurs étapes de blanchiment a provoqué de nombreuses études sur la manière de les réduire ou d'éviter leur formation. Les nombreuses études internationales ont montré que le mécanisme principale de la formation du 2,3,7,8-TCDD et du 2,3,7,8-TCDF est la chloration des composés précurseurs, le dibenzodioxine (DBD) et le dibenzofurane (DBF) présents dans la pâte non-blanchie par une substitution électrophile aromatique. La formation du 2,3,7,8-TCDF sera réduite en augmentant la substitution du dioxyde de chlore, comme il est indiqué à la Figure 1. On a largement remplacé l'utilisation du chlore moléculaire dans le blanchiment par le dioxyde de chlore (ECF, «*elemental chlorine-free*», sans chlore élémentaire) et par d'autres produits chimiques à base d'oxygène tels que l'oxygène moléculaire, le peroxyde, l'ozone moléculaire (TCF, «*totally chlorine-free*», totalement sans chlore).

Plus de 80% de toute la pâte chimique provient du procédé kraft (Gullichsen and Fogelholm 2000). Cependant, plus de 10% de la production mondiale de pâte est basée sur l'utilisation de fibres autres que celles du bois: le «non-bois», et dans certains pays, par exemple la Chine et l'Inde, ces fibres dominent dans la production totale. En Chine, plus de 24 % de la pâte utilisée dans l'industrie du papier est produite de paille de blé, de roseaux, de bambou et d'autres sources de non-bois, tandis que dans les pays occidentaux l'utilisation de non-bois est peu répandue. Le nombre d'usines utilisant des non-bois comme matières premières représente environ le cinquième du total du monde. En 1998, 107 usines nordiques de papier et de carton ont fabriqué 25 million de tonnes de produits, tandis qu'environ 6'000 usines chinoises fabriquaient 28 million de tonnes (Edelmann *et al.* 2000). En 2005 environ 3600 usines chinoises ont produit 56 million de tonnes de papier et de carton (Chinese Association of Paper Industry: 2005 Annual report of the Chinese paper industry).

■ Figure 1. Elimination du 2,3,7,8-TCDF avec une substitution croissante du chlore par le dioxyde de chlore²



1.1 Matières premières

La pâte et le papier sont fabriqués à partir de matériaux à base de bois et de plusieurs matériaux non bois comme la paille, la bagasse, le bambou, les roseaux, et le chanvre. A présent le bois représente plus de 90% des besoins mondiaux pour les fibres vierges tandis que les sources non-bois fournissent le reste. En 2005, la production de pâtes chimiques à base de bois était environ 126 millions de tonnes, et la production à partir de sources non-bois atteignait environ 15–20 millions de tonnes (statistiques du FAOSTAT). Les pâtes à base de non-bois sont surtout fabriquées dans les pays en développement, mais pour différentes raisons les pâtes de non-bois se montrent à nouveau intéressantes en Europe de l'Est et de l'Ouest, et aussi en Amérique du Nord (Paavilainen 1998).

Le bois et la plupart des non-bois utilisés dans la fabrication du papier représentent un mélange complexe des mêmes substances – cellulose (40–45%), hémicelluloses (25–35%), lignine (20–30%) et matières extractibles (2–15%). La plupart des matériaux ligno-cellulosiques et cellulosiques avec une structure fibreuse peut être traitée pour donner différents grades de papiers et de cartons. Les fibres provenant de matières premières différentes sont cependant dissemblables. Elles diffèrent considérablement dans leurs caractéristiques morphologiques et chimiques, ce qui les rend adaptées à la production de différents grades de produits finaux (Paavilainen 1998). La paille de blé ou de riz est la fibre non-bois la plus utilisée comme matière première. La paille donne une pâte à fibres courtes, ce qui est similaire à la pâte de bois durs. Une teneur élevée en silice est caractéristique des matériaux non-bois Myrén 2000).

1.2 Technologie et produit final

Il est nécessaire de choisir la technologie de fabrication et de blanchiment de la pâte en fonction des qualités et des caractéristiques des grades de pâtes et de papiers à préparer. Il n'existe pas un seul procédé pour les pâtes qui puisse satisfaire à tous les besoins. La pâte pour journaux par exemple est un produit à grand volume avec une résistance

mécanique, une opacité et une facilité d'impression assez moyennes; elle accuse en plus une durée de vie assez courte. Il est donc possible de fabriquer une pâte à haut rendement au prix de la résistance mécanique maximale atteignable et d'une blancheur plus faibles, à partir de ces matières premières; il y a un besoin plus faible en blanchiment à cause de la blancheur naturelle des pâtes. D'un autre côté, les papiers d'emballage doivent être résistants s'ils doivent être utilisés; il est donc nécessaire ici d'accepter un rendement plus faible en adoptant un chemin de production différent afin d'arriver à des plus grandes résistances; mais ici encore, les exigences de blanchiment pourraient être faibles. Il faut que les niveaux de délignification et du blanchiment utilisés soient élevés dans le cas des papiers à écriture et des papiers pour l'impression, et aussi dans le cas des cartons pour emballage externe – leurs blancheurs et durabilité doivent durer des années sans jaunissement. L'effort demandé au niveau du blanchiment peut donc être très variable.

2. Description des procédés

2.1 Méthodes utilisées pour la fabrication de pâte

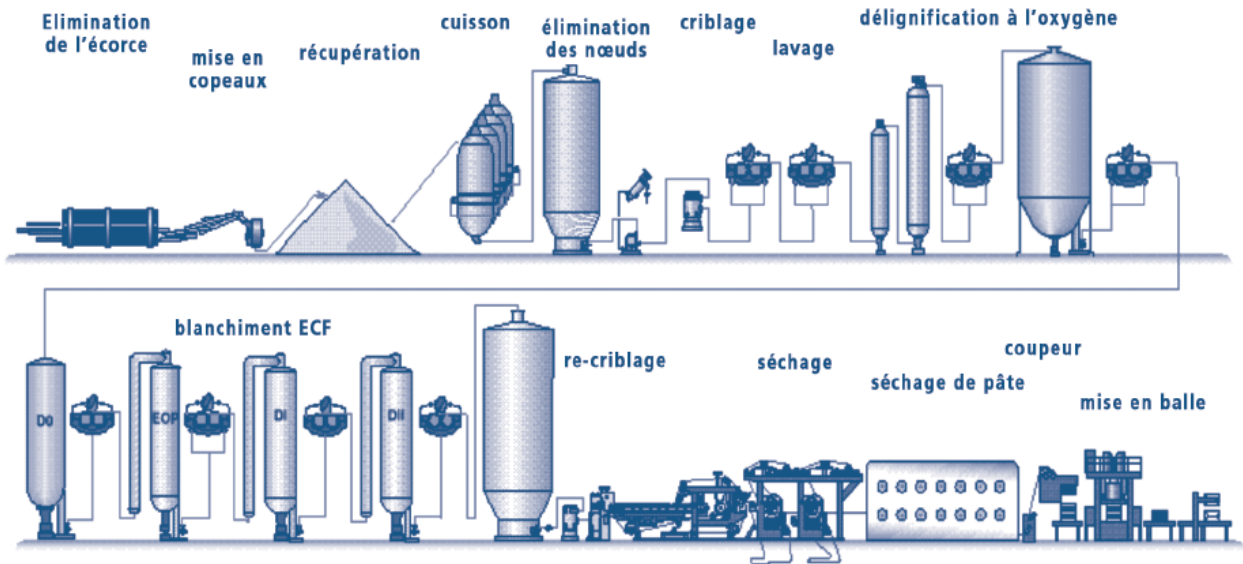
Les procédés principaux utilisés pour la fabrication de pâte et de papier comprennent la manipulation et la préparation des matières premières, le stockage (et la conservation pour les produits non-bois), la séparation de l'écorce, la mise en copeaux, le nettoyage de matières agricoles résiduelles, la séparation des nœuds, la fabrication de la pâte, le traitement de la pâte et le blanchiment si nécessaire, et finalement la fabrication de papier ou de carton.

Pour la fabrication de la pâte on utilise des méthodes mécaniques, thermomécaniques, chimico-mécaniques et chimiques. Les procédés mécaniques utilisent un broyage dans le cas des bûches et des affineurs à disque dans le cas de copeaux. Dans ces procédés, des forces de cisaillement mécaniques sont utilisées pour séparer les fibres, et la majorité de la lignine reste avec les fibres, bien qu'il y ait quand même une dissolution significative de substances organiques. La première étape est suivie d'un affinage secondaire à disque avec envoi direct vers la machine de fabrication du papier. Il est possible d'utiliser les pâtes mécaniques sans blanchiment mais lorsqu'on applique un traitement pour donner un éclat, celui-ci est fait à l'aide de composés tels que la diosionite ou des peroxydes (Gullichsen and Fogelholm 2000).

La lignine sert de liant dans la structure du bois. Dans la fabrication chimique de pâte, la libération de fibres est facilitée par des produits chimiques qui dissolvent la lignine. La lignine et beaucoup d'autres substances organiques passent donc en solution. Ceci se passe dans des réacteurs sous pression, appelés digesteurs, qui sont des cuves verticales chauffées et pressurisées pour les matières premières à base de bois. Des digesteurs rotatifs ou des digesteurs cylindriques à rouleaux sont utilisés dans les systèmes de fabrication de pâte en discontinu par des procédés chimiques divers, pour les non-bois. Dans les Figures 2 et 3, on montre des schémas typiques de déroulement des procédés à matières premières bois, et non-bois. La lignine résiduelle dans les fibres est éliminée à l'aide de réactifs chimiques. Des recherches sont en cours sur des enzymes qui pourraient renforcer l'action des produits chimiques. Des limites à l'utilisation d'enzymes

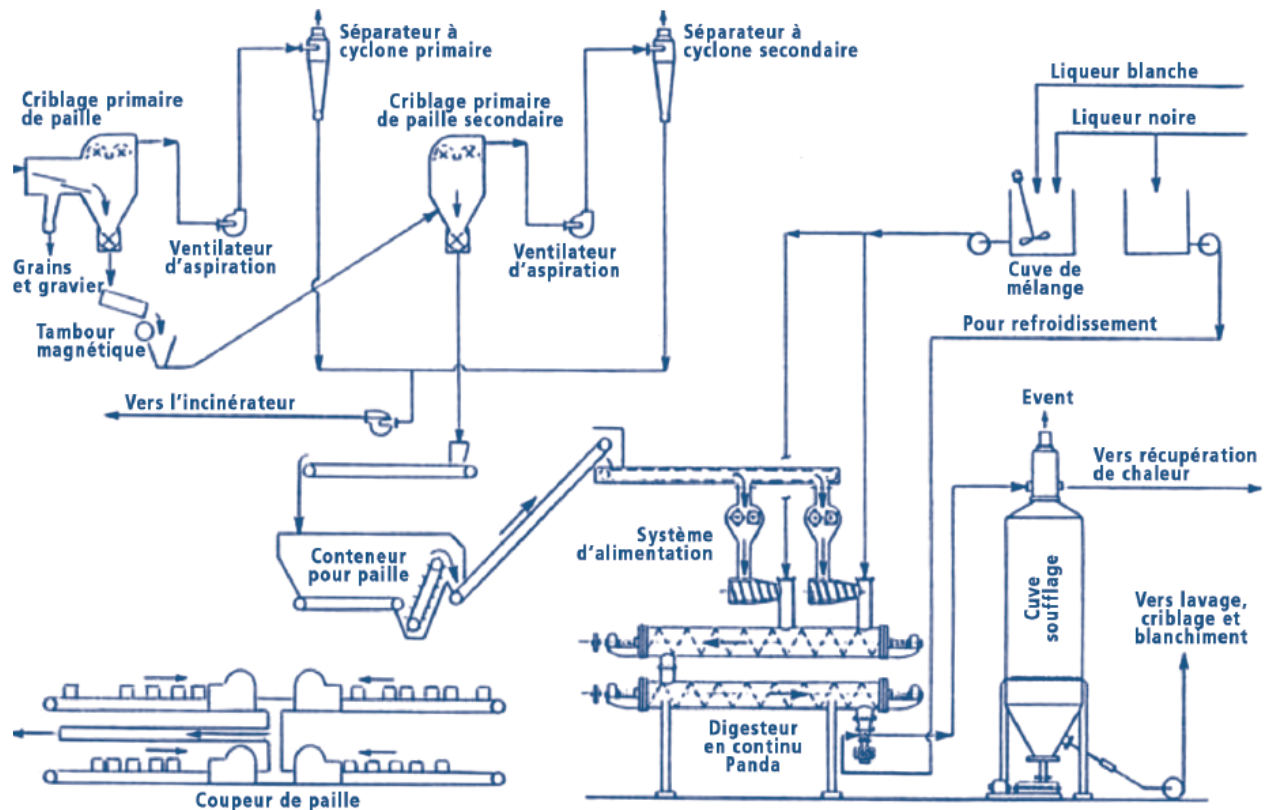
viennent d'une baisse du rendement, des effets sur les propriétés des fibres et des coûts plus élevés.

■ **Figure 2. Schéma typique de déroulement pour le procédé Kraft avec blanchiment ECF**



Source: Metso Automation Inc.

■ **Figure 3. Schéma typique de déroulement pour la fabrication de pâte à partir de paille utilisant le système Pandia à digestion en continu**



Source: Kocurek 1983.

Les principales techniques de fabrication de pâte chimiques, mi-chimiques et chimico-mécaniques sont les suivantes:

- Le procédé au sulfate (Kraft) utilise un mélange de soude caustique et de sulfure de sodium dans un milieu alcalin pour dissoudre la lignine se trouvant dans les fibres du bois, et de la plupart des non-bois (méthode chimique);
- Au sulfite: méthodes avec bisulfite acide, bisulfite, alcalis, et bisulfite neutre (Ca, Mg, NH₄, Na); diverses bases, y compris l'antraquinone, dans une gamme de pH, pour dissoudre les lignines; la plupart des fibres de bois (méthodes chimiques et mi-chimiques);
- A la chaux, chaux-soude: en particulier, les fibres non-bois;
- A la soude froide: utilise un traitement à la soude à température ambiante, seule ou avec du carbonate de sodium: en particulier, fibres de bois durs et de non-bois (mi-chimique);
- Soude anthraquinone (AQ): soude seule, ou avec du carbonate de sodium et un catalyseur (l'antraquinone); fibres de bois durs et non-bois (chimique, similaire au Kraft mais sans soufre), odeur plus faible;
- Méthodes Organosolv: applications pour le bois et le non-bois; tests effectués à l'échelle d'une usine pâte à papier, mais un seul procédé est disponible dans le commerce.

Le procédé Kraft, ou sulfate, est le plus important des procédés pour la fabrication de pâte dans le monde, représentant 84% de la production mondiale de pâte chimique, et 63% de la production totale de pâte chimique et mécanique.

Les pâtes à base de matériaux non-bois sont presque exclusivement fabriquées avec les procédés chimiques et mi-chimiques. Parmi les procédés appliqués aux matériaux non-bois, le procédé à la soude est le plus important, suivi du procédé Kraft et le procédé au sulfite neutre. Les usines de pâte à papier utilisant les procédés traditionnels basés sur la chaux et le chaux-soude fonctionnent toujours (Edelman *et al.* 2000; *Proceedings* 1992). On étudie actuellement plusieurs nouveaux procédés pour la fabrication de pâte à partir de matières premières non-bois.

2.1.1 Le procédé Kraft (au sulfate) pour la fabrication de pâte

Le procédé Kraft utilise une solution alcaline à base de sodium contenant du sulfure de sodium (Na₂S) et la soude (NaOH). Les fibres sont libérées dans le réacteur de cuisson en dissolvant la lignine et une partie de l'hémicellulose dans la liqueur chimique de cuisson (liqueur blanche). On récupère la liqueur de cuisson (liqueur noire) pour générer de la liqueur blanche pour la première étape de l'élaboration de la pâte. Dans les usines où l'on pratique la récupération chimique, la plupart des substances provenant du bois sont brûlées, et les effluents aqueux contiennent surtout les matériaux organiques dans le condensât ainsi que les substances qui auraient été dissoutes pendant le blanchiment et les résidus des produits chimiques de blanchiment, dans le cas des unités utilisant le blanchiment. De nombreuses installations de petite taille ne récupèrent pas la liqueur.

Il est plus difficile de traiter les liqueurs de fibres non-bois à cause de la teneur élevée en matériaux fibreux et l'augmentation rapide de la viscosité de la liqueur pendant l'évaporation; il y a également des problèmes pour atteindre des teneurs élevées en matières solides dans la liqueur concentrée qui est envoyée dans le système de récupération. Cependant ce secteur de la technologie de récupération est l'objet de nombreuses études, avec quelques indications que cette approche est viable.

2.1.2 Procédés à la chaux et à la soude

Ce sont des procédés qui utilisent des liqueurs de cuisson simples, alcalines, dans un procédé qui ressemble à la méthode Kraft, mais sans utiliser de composés au soufre. Dans des usines où il n'y a pas de récupération chimique, toutes les substances dissoutes venant du bois, ainsi que les produits chimiques utilisés pour l'élaboration et le blanchiment de la pâte, restent dans les effluents aqueux, à part les volatiles qui peuvent être libérés et qui passent dans l'atmosphère. La capacité de délignification n'est pas adaptée pour donner des pâtes bois à faible rendement et avec une blancheur élevée. L'application de ce procédé pour des pâtes non-bois est très courante, et il est aussi utilisé, avec de l'oxygène, pour faire de la pâte à partir de paille. Dans le procédé à la soude, la chimie est simplifiée car il n'y a pas d'additions de soufre qui pourraient mener à des sous-produits indésirables, et l'hydroxyde peut être récupéré par un traitement à la chaux du carbonate de sodium fondu. Après cuisson, les pâtes qui ne sont pas destinées à être blanchies sont affinées pour séparer les fibres.

2.1.3 Procédés au sulfite pour la fabrication de pâtes

Le procédé de fabrication de pâtes au sulfite est basé sur l'utilisation du dioxyde de soufre aqueux avec une base – calcium, sodium, magnésium ou ammonium. Cette méthode perd en importance et seulement 10% de la pâte dans le monde est produite par cette technologie. Les usines de pâte utilisant du sulfite alcalin pour les fibres non-bois fonctionnent souvent en mode discontinu, et on ne procède pas généralement à une récupération chimique dans de telles installations à cause de leur petite taille et de la complexité du système de récupération, en partant de ce qui est normalement un procédé à la soude. Par comparaison aux pâtes Kraft, les pâtes au sulfite sont relativement claires et sont aussi relativement faciles à blanchir à l'aide de composés à base d'oxygène, tels que les peroxydes.

2.1.4 Procédés à base de solvants

Les procédés à base de solvants peuvent être utilisés pour les deux types de matières premières: bois et non-bois. Ces procédés, appelés Organosolv, fabriquent de la pâte à l'aide des solvants suivants, entre autres: acide formique, acide peroxyformique, acide acétique, éthanol, méthanol et acétone (Rousu and Antila 2002; Laxén and Halttunen 1992; Stern 2003; Edelman *et al.* 2000). La plupart des méthodes de cuisson à l'alcool et l'acide sont des procédés sans soufre, et mènent à des pâtes faciles à blanchir. Certaines des méthodes de cuisson basées sur des solvants sont mieux adaptées pour les bois durs (par ex., Alcell) et quelques matières premières à base de bois durs et bois tendres (par ex., NAEM, Organocell, Acetocell, Formacell et ASAM). Aucune de ces techniques proposées cependant n'a pu être validée commercialement, et les lignes

pilotes de production ont été arrêtées. La validité de systèmes à base de solvant pour des matériaux non-bois a été étudiée (par ex., Alcell, Milox, Chempolis). Des essais au laboratoire pour comparer le procédé Kraft traditionnel appliqué aux matières premières non-bois, ont montré que le rendement pour des pâtes Organoslov non-bois est plus élevé en utilisant les procédés à l'éthanol-soude, l'ASAM et l'Organocell (Shatalov and Pereira 2005). Les procédés à l'échelle pilote de Milox, Formacell, et l'ASAM produisent des pâtes qui sont mieux du point de vue du blanchiment (Gullichsen and Fogelholm 2000).

2.2 Le blanchiment

Le blanchiment, effectué après la fabrication de la pâte, est un procédé chimique appliqué aux pâtes dans le but d'augmenter leur blancheur. Pour atteindre le niveau de blancheur requis, le blanchiment devrait être fait en éliminant la lignine résiduelle dans les pâtes chimiques (délignification, ou blanchiment pour enlever la lignine). Il n'est pas possible d'enlever suffisamment toute la lignine sélectivement dans une seule étape de blanchiment; la pâte est normalement blanchie en trois à six étapes. Dans les deux premières étapes on libère et on extrait surtout la lignine; dans les étapes suivantes, on enlève les résidus de lignine et on termine le produit. Ces séquences de blanchiment sont appliquées pour optimiser les effets de blanchiment de chaque composant. On utilise de l'eau pour effectuer les lavages intermédiaires et enlever les déchets extraits de la pâte (Gullichsen and Fogelholm 2000; Stenius 2000). Les traitements chimiques couramment utilisés pour le blanchiment, avec leurs désignations abrégées, sont donnés au Tableau 1.

■ Tableau 1. Traitements chimiques couramment utilisés pour le blanchiment

Traitement	Abréviation	Description
Chloration	C	Réaction avec chlore élémentaire en milieu acide
Extraction alcaline	E	Dissolution des produits de réactions avec du NaOH
Hypochlorite	H	Réaction avec de l'hypochlorite en milieu alcalin
Dioxyde de chlore	D	Réaction avec du dioxyde de chlore (ClO ₂)
Chlore et dioxyde de chlore	CD	Dioxyde de chlore ajouté au stade du chlore
Oxygène	O	Réaction avec de l'oxygène moléculaire à haute pression en milieu alcalin
Extraction à l'oxygène	EO	Extraction alcaline avec de l'oxygène
Peroxyde	P	Réaction avec du peroxyde d'hydrogène (H ₂ O ₂) en milieu alcalin
Chélatant	Q	Réaction agent chélatant, EDTA ou DTPA, en milieu acide pour extraction des métaux
Ozone	Z	Ozone utilisant de l'ozone gazeux (O ₃)

Si le chlore moléculaire et l'hypochlorite sont exclus, le terme utilisé pour l'étape de blanchiment est «blanchiment au dioxyde de chlore» ou «blanchiment sans chlore élémentaire» (ECF). Si l'étape n'utilise que des composés à base d'oxygène, tels que l'oxygène, l'ozone, et le peroxyde alcalin ou acide, on peut utiliser les termes «blanchiment chimique à l'oxygène» ou «blanchiment complètement sans chlore» (TCF).

Pour les pâtes Kraft à bois tendre, on utilise couramment un certain nombre de séquences de blanchiment, de quatre à six, afin d'obtenir des niveaux de blancheur «blanchiment total» (niveau 89–91%). Les séquences de blanchiment (blancheur total) comme CEHDED et CEDED étaient en opération dans les années '60 et '70. Les séquences plus typiques des usines de pâtes modernes sont OD(EOP)D, OD(EOP)DP, Q(PO)DD, Q(PO)(DQ)(PO) et (Z(EO))DD (blancheur totale).

Avec une étape de délignification à l'oxygène, ou d'extraction renforcée, les séquences de blanchiment pourraient être: O(D+C)(EO)D; O(CD)EDED; et O(D)(EO)DED.

Il est plus facile de blanchir les bois durs par des méthodes sans chlore à cause de leur teneur en lignine plus faible. De plus, un effort de blanchiment moins important suffit pour les pâtes au sulfite à cause de leur blancheur plus forte avant le blanchiment.

Pour les deux types de matières premières, non-bois et bois, le procédé de fabrication de pâte enlève une partie de la lignine. Ensuite, on peut utiliser une gamme de produits chimiques et de catalyseurs pour éliminer la lignine. Traditionnellement, ces produits ont inclus le chlore et dioxyde de chlore gazeux. Pour les pâtes non-bois, on utilise encore beaucoup soit le blanchiment hypochlorite à une étape, soit le blanchiment conventionnel à 4 étapes (CEHH, CEHD), selon les besoins finaux en brillance (Zheng *et al.* 1997). Plus récemment on a utilisé de l'oxygène pressurisé, de l'ozone et le peroxyde d'hydrogène (Stern 2003).

2.2.1 Blanchiment au chlore élémentaire et à l'acide hypochlorite

Le chlore élémentaire et l'acide hypochlorite sont des agents chimiques de blanchiment électrophiles qui réagissent avec toutes les structures insaturées, à savoir les structures lignines; les produits de dégradation des polysaccharides, tels que l'acide hexenuronique; et les structures extractives qui contiennent des doubles liaisons carbone-carbone. Ces agents de blanchiments électrophiles peuvent réagir avec différents atomes de carbone aromatiques insaturés dans la lignine pour:

- a. Chlorer (quand l'atome de carbone n'est pas lié à un atome d'oxygène); ou
- b. Chlorer et dépolymériser (par le déplacement d'un groupe -hydroxyle); ou
- c. Simplement dépolymériser sans chlorer (*via* une hydroxylation).

Ces réactions de chloration ou de dépolymérisation rendent la lignine soluble dans l'alcali; elle peut ensuite être séparée de la pâte pendant l'étape de blanchiment alcaline de la séquence de blanchiment

2.2.2 Formation de 2,3,7,8 – TCDD/TCDF

La plupart de la formation de 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxine (2,3,7,8-TCDD) et 2,3,7,8- tetrachlorodibenzofurane (2,3,7,8-TCDF) a lieu dans l'étape C par la réaction du chlore avec le précurseur du TCDD, à savoir le di-benzo-*p*-dioxine (DBD), et avec le précurseur du TCDF, qui est le dibenzofurane non chloré. Lorsque ces précurseurs sont chlorés, la réaction primordiale est la substitution aromatique électrophile. La vitesse de cette réaction dépendra à la fois sur la concentration du précurseur et sur celle du chlore. Les concentrations de 2,3,7,8-TCDD et de 2,3,7,8-TCDF ne sont pas déterminées par la teneur en lignine de la pâte (Berry *et al.* 1989).

La chloration de structures non aromatiques, telles que l'acide hexenuronique, ne mène pas à la formation de produits de dégradation aromatiques polychlorés.

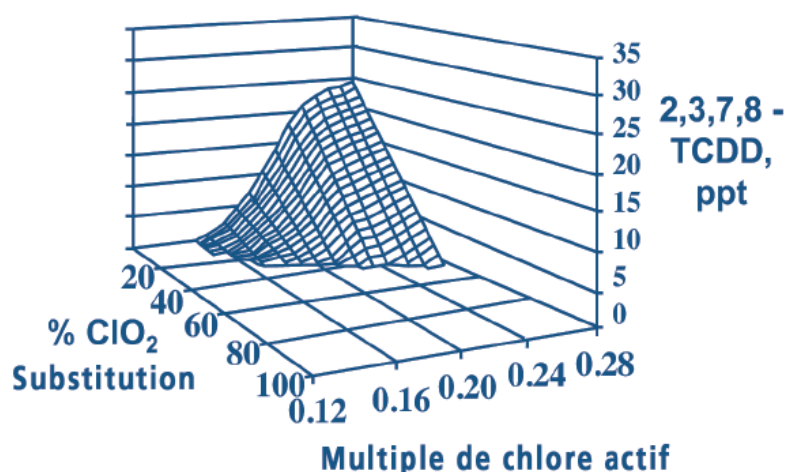
Les précurseurs des dioxines non chlorés se trouvent dans certaines huiles minérales, qui peuvent faire partie de formulations de désémulsifiants utilisés dans l'industrie de la pâte et papier, et sont la source principale de précurseurs. Le bois lui-même peut agir en tant que précurseur pour les dioxines. Les agglomérés de bois en particulier ont des concentrations plus élevées de précurseurs par rapport au bois normal. L'agglomération du bois peut mener aussi à des concentrations plus élevées de lignines du type coumaryl, qui peuvent être une source de précurseurs du type DBD ou DBF.

2.2.3 Mécanismes d'élimination des 2,3,7,8 – TCDD/TCDF

On peut éviter la formation des 2,3,7,8–TCDD et 2,3,7,8–TCDF lors du blanchiment en utilisant surtout un blanchiment complètement sans chlore, et une élimination virtuellement totale peut être obtenue en réduisant la quantité de chlore utilisée dans la première phase de blanchiment. Cela peut être réalisé en réduisant le multiple d'atomes de chlore, en améliorant le lavage avant chloration, en effectuant une étape d'extraction renforcée par l'oxygène et le peroxyde, en augmentant la substitution par le ClO_2 (Rappe *et al.* 1989, Tana and Lehtinen, 1996). La formation des 2,3,7,8 – TCDF et 2,3,7,8-TCDD sera réduite en augmentant la substitution par ClO_2 tel que l'on voit sur les Figures 1 et 4. Quand le niveau de substitution est supérieure à 85%, le 2,3,7,8 – TCDF et le 2,3,7,8-TCDD peuvent être virtuellement éliminés.

L'effet global du multiple de chlore actif¹ et le niveau de substitution de ClO_2 se voit sur la Figure 4. On s'attendra à ce que le niveau de formation de dioxine dans ces conditions varie, en fonction de la teneur DBD de la pâte écrue.

■ **Figure 4. Effet du multiple de chlore actif et du niveau de substitution de dioxyde de chlore sur la formation de 2,3,7,8-TCDD**



Le chlore élémentaire peut être complètement remplacé par le ClO_2 (blanchiment sans chlore élémentaire). Dans ce procédé, le ClO_2 est généralement le principal agent de blanchiment. Le chlore élémentaire peut être remplacé par le ClO_2 au cours de la première phase de blanchiment, parce que le ClO_2 (par atome de chlore) possède un pouvoir d'oxydation cinq fois plus important par rapport au chlore, et à pratiquement les mêmes propriétés pour éliminer la lignine de manière sélective. Le renforcement des étapes d'extraction alcaline lors du blanchiment par oxygénation et/ou par l'eau oxygénée apporte une blancheur très améliorée, ce qui réduit la teneur résiduelle de la lignine contenue dans la pâte, avant les étapes finales de blanchiment par ClO_2 . En augmentant le degré de substitution ClO_2 , on diminue la formation de substances organiques chlorées et on évite la formation de dioxines et de furanes. L'augmentation de la substitution du chlore par le ClO_2 exige généralement des modifications du procédé de blanchiment, mais aussi un agrandissement des installations de l'unité de dioxyde de chlore sur le site.

Le procédé de blanchiment sans chlore élémentaire est différent pour le bois tendre et le bois dur, et dans les usines papetières, les possibilités de cette approche sont liées au procédé déjà utilisé pour le blanchiment. En général, pour atteindre un certain degré d'éclat, le bois dur demande moins de produits chimiques que le bois tendre, ce qui signifie que le nombre d'opérations de blanchiment peut être plus faible. Pendant ces dernières années les teneurs en dioxyde de chlore ont été réduites d'un tiers dans le blanchiment des bois durs au fur et à mesure qu'il a été remplacé par de produits chimiques à base d'oxygène. Des exemples de séquences de blanchiment sans chlore élémentaire sont (DZ) (EOP)D, (DQ)(PO), et D(EOP)D(PO). Celles-ci peuvent être employées pour le bois dur et pour le bois tendre, selon le niveau de blancheur (European Commission 2000).

Voir le tableau 1 pour les désignations.

De petites quantités de chlore sont formées comme sous-produits dans les systèmes générant du dioxyde de chlore. Une partie de cette impureté de chlore moléculaire sera présente quand on utilise le dioxyde de chlore comme agent de blanchiment. Il existe plusieurs procédés de préparation du dioxyde de chlore produisant des quantités différentes de chlore élémentaire en tant que sous-produit. Donc avec un choix judicieux de la méthode de préparation du dioxyde de chlore on pourra réduire la formation d'impureté à base de chlore moléculaire, et la formation non-intentionnelle de dioxines.

La pâte sans chlore élémentaire (pâte Kraft) blanchie avec le ClO_2 détient une position prédominante dans cette industrie, soit environ les trois-quarts de la pâte blanchie produite dans monde.

3. Meilleures techniques disponibles pour la fabrication de pâte utilisant du chlore élémentaire

3.1 Mesures primaires

Les principales meilleures techniques disponibles pour réduire ou empêcher la formation des 2,3,7,8 – TCDD/TCDF dans les procédés de blanchiment du bois ou d'autres produits, sont les suivantes:

- Réduction de l'usage de chlore élémentaire en réduisant le multiple ou en augmentant la substitution du chlore moléculaire par le ClO_2 ;
- Elimination du chlore élémentaire en le remplaçant par du ClO_2 (blanchiment sans chlore élémentaire), ou par des substances chimiques sans chlore;
- Utilisation de désémulsifiants, sans DBD ni DBF;
- Ne pas utiliser des matières premières non-bois (roseaux) qui sont contaminées ou potentiellement contaminées par des PCDD/PCDF présents comme impuretés dans le pentachlorophénolate (Zheng 1997);
- Faire un lavage de la pâte écrue pour permettre la réduction du multiple de chlore;

- Enlever autant que possible les nœuds et les saletés pour permettre une réduction du facteur du multiple du chlore;
- Eviter de fabriquer de la pâte à partir de matières premières contaminées par des phénols polychlorés.

3.2 Mesures secondaires

Les mesures générales suivantes sont suggérées:

- Substitution: L'identification et la substitution de substances potentiellement nocives par des alternatives moins nuisibles. Emploi d'un inventaire détaillé des matières premières utilisées, composition, quantité, leur sort, et l'impact environnemental;
- Cycles de planning/investissements: coordination des améliorations de procédé pour réduire les retards dus à des goulets d'étranglement dans l'introduction de meilleures techniques;
- Formation, éducation et motivation des personnels: une équipe bien formée peut être un moyen efficace et économique pour réduire les rejets de substances nocives;
- Gestion et optimisation des contrôles des procédés: pour être capable de réduire des polluants différents simultanément, et pour maintenir de faibles rejets, des procédés améliorés de contrôle sont nécessaires, comprenant des spécifications pour les matières premières, et le suivi de celles-ci pour détecter la présence éventuelle de matériaux précurseurs;
- Entretien adéquat: un entretien suffisant doit être assuré pour maintenir à un haut niveau l'efficacité du procédé et des techniques associées de réduction des polluants;
- Système de gestion environnemental: un système qui définit clairement les responsabilités pour les aspects environnementaux dans la papeterie. Cela permettra de renforcer l'aspect de sensibilisation et inclut des objectifs et évaluations, des instructions pour le procédé et le travail, des listes de points à vérifier et autres documentations, et l'intégration des problèmes environnementaux concernant des contrôles lors de changements de procédés;
- Développement de protocoles de contrôles environnementaux et de protocoles standard de suivi, incluant aussi le suivi des rejets dans le cas de nouvelles unités

4. Alternatives

4.1 Blanchiment totalement sans chlore pour la pâte Kraft

Le procédé de blanchiment totalement sans chlore (TCF) s'est développé rapidement dans les années '90 mais a petit à petit perdu de son attrait à cause des propriétés moins attractives des fibres obtenues, un rendement plus faible en pâte et une consommation

plus élevée d'énergie. Le procédé sans chlore élémentaire (ECF) est devenu la première méthode de blanchiment. Certains procédés TCF ont perdu leur part de marché et des usines à pâte TCF se convertissent à la production ECF. Les coûts opératoires du TCF sont généralement plus élevés que ceux des procédés ECF à cause des coûts des produits chimiques plus élevés pour atteindre de même niveau de blancheur de pâte.

Le blanchiment TCF est un procédé de blanchiment effectué sans aucun produit chimique contenant du chlore. Dans ce procédé, le peroxyde d'hydrogène avec de l'ozone ou de l'acide peracétique sont les produits utilisés les plus couramment. L'ozone est devenu le complément le plus courant au peroxyde, lors des étapes de blanchiment sans chlore. Le principal but en utilisant de l'ozone est de faciliter la délignification. A condition que la pulpe ait un indice kappa suffisamment bas après cuisson et délignification prolongées, et que les métaux de transition (par ex. Mn^{2+}) aient été extraits lors des étapes nécessaires de chélation (étapes-Q), il est possible d'atteindre une blancheur commerciale avec le peroxyde comme seul agent chimique de blanchiment.

Des exemples de séquences différentes totalement sans chlore sont listés ci-dessous:

Bois tendre	Bois dur
Q (EP) (EP)(EP)	QPZP
Q(OP)(ZQ)(PO)	Q(OP)(ZQ)(PO)
Q(EOP)Q(PO)	Q(EOP)Q(PO)
Q(OP)ZQ(PO)	Q(OP)ZQ(PO)

Notes:

Q = étape acide où l'agent de chélation EDTA ou DTPA a été utilisé pour retirer les métaux

EP = étape d'extraction utilisant le NaOH avec addition ultérieure de solution H_2O_2 comme agent de renforcement

EO = étape d'extraction avec NaOH, avec addition ultérieure d'oxygène gazeux comme agent de renforcement

EOP = étape de blanchiment par extraction alcaline utilisant du sodium hydroxyde avec addition ultérieure d'oxygène et de solution d'eau oxygénée comme agent de renforcement

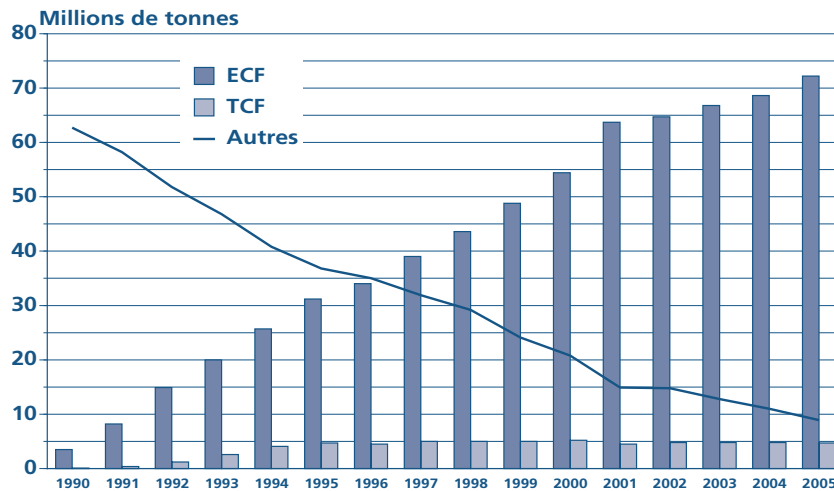
P = phase alcaline avec le H_2O_2 comme liquide

Z = blanchiment à l'ozone utilisant le O_3 gazeux

PO = blanchiment par peroxyde sous pression

Les tendances dans la production totale de pâte chimique dans le monde sont exposées en Figure 5. Les pâtes Kraft et sulfite représentent moins de 5% de la production et sont localisées surtout en Europe du Nord et Centrale.

■ **Figure 5. Tendances dans la production de pâte chimique: Monde, à l'exclusion de la Chine et l'Inde**



Note: «Other» se réfère à de la pâte blanchie avec un peu de chlore moléculaire.

4.2 Blanchiment totalement sans chlore (TCF) pour les pâtes non-bois

En raison de leur faible capacité à être blanchi, les pâtes qui n'ont pas comme origine le bois, ne peuvent être blanchies de manière satisfaisante sans substances chlorées si le procédé traditionnel alcalin pour les non-bois est utilisé. Les matériaux non-bois contiennent des quantités notables d'ions métalliques, comme le potassium, le calcium, le manganèse, le cuivre et le fer. Quand la pâte est blanchie sans produits chlorés, les éléments de transition forment des radicaux qui réagissent de manière non sélective avec la pâte, ce qui provoque une perte dans leurs caractéristiques mécaniques. On ajoute souvent des chélates pendant les premières étapes du blanchiment pour réduire les quantités de métaux dans les fibres. En plus, le blanchiment s'accompagne de la formation d'acide oxalique. Le calcium réagit avec l'acide oxalique pour donner de l'oxalate de calcium qui est facilement déposé. Pour cette raison, le blanchiment totalement sans chlore n'est pas viable dans les procédés traditionnels alcalins pour les matériaux non-bois. Des recherches se poursuivent sur le blanchiment TCF pour les procédés à base de solvants.

5. Niveaux de performances atteignables, associés aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales

Quand le niveau de substitution du ClO₂ est supérieur à 85% dans le blanchiment traditionnelle, ou si un blanchiment ECF ou TCF est utilisé, les émissions de 2,3,7,8-TCDF et de 2,3,7,8-TCDD vers l'eau sont plus faibles que la limite de quantification utilisant la Méthode EPA 1613 (se référer au tableau 2).

5.1 Présentation des résultats de performance

Il est recommandé de présenter les performances comme il est décrit à la section III.C (vi) du présent document d'orientation.

Lorsqu'il n'est pas possible d'effectuer des tests sur les émissions, (par exemple, si des ressources analytiques ne sont pas facilement disponibles), il est proposé d'utiliser les facteurs de rejet pour les PCDD/PCDF qui sont associés à une usine similaire fonctionnant de la même manière; cette approche pourrait permettre de fournir un rapport de performance intermédiaire en attendant que l'on puisse disposer de résultats sur les mesures des émissions ainsi que des résultats analytiques. Des facteurs d'émission des PCDD/PCDF pour des usines papetières sont présentés dans la section 6.7.1 du rapport PNUE: *Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases* (UNEP 2003).

5.2 Normes des performances

Le Tableau 2 résume les normes existantes de performances applicables aux usines de fabrication de pâte.

■ **Tableau 2. Résumé des normes de performances applicables aux usines de fabrication de pâte**

Nouvelle usine	2,3,7,8-TCDD/TCDF pg/l vers l'eau	2,3,7,8-TCDD/TCDF ng/kg vers les boues	Désémulsifiants DBD et DBF mg/kg
Canada – Federal ^a	Plus faible que le niveau de quantification dans l'effluent final traité		DBD <10 DBF <40
USA Kraft et soude ^b	2,3,7,8-TCDD <10 2,3,7,8-TCDF ≤ 31,9 dans les effluents d'unités de blanchiment	10/100	
USA, à base d'ammoniac et spécialité sulfite ^b	2,3,7,8-TCDD <10 2,3,7,8-TCDF <10 dans les effluents d'unités de blanchiment		
Australie ^c	2,3,7,8-TCDD <15 dans l'effluent final traité		
Tasmanie, Australie ^d	2,3,7,8-TCDD <10 dans l'effluent final traité		
Japon ^e	<10 pg TEQ/L		

Sources:

a. Government of Canada. 1992. *Canadian Pulp and Paper Mill Defoamer and Wood Chip Regulations*. SOR/92-268. Canadian Department of Justice. www.ec.gc.ca/NOPP/DIVISION/EN/detail.cfm?par_docID=99.

b. United States Congress, Office of Technology Assessment. 1989. *Technologies for Reducing Dioxin in the Manufacture of Bleached Wood Pulp*. OTA-BP-O-54. United States Government Printing Office, Washington, D.C. govinfo.library.unt.edu/ota/Ota_2/DATA/1989/8931.PDF.

c. Government of Australia. 1990. *Bleaching and the Environment*. Industry Commission, Pulp and Paper: Report No. 1. Australian Government Publishing Service, Canberra. www.pc.gov.au/ic/inquiry/01pulp/finalreport/01pulp.pdf.

d. Resource Planning and Development Commission. 2004. *Development of New Environmental Emission Limit Guidelines for Any New Bleached Eucalypt Kraft Pulp Mill in Tasmania*. Government of Tasmania, Australia. <http://www.rpdc.tas.gov.au/BEKM/pages/bekm.htm>.

e. Member of EGB. 2005. Ministry of the Environment of Japan.

Références

- Berry R.M., Flemming B.I. et al. 1989. «Toward Preventing the Formation of Dioxins during Chemical Pulp Bleaching.» *Pulp and Paper Canada* 90:8.
- Edelman K., McKeough P., Sipilä K. et al. 2000. «Environment and Economics.» *Paper and Timber* 82:3.
- European Commission. 2000. *Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain.
- Gullichsen J. and Fogelholm C.-J. 2000. *Papermaking Science and Technology Book 6A: Chemical Pulping*. Fapet Oy.
- Kocurek M.J. 1983. *Pulp and Paper Manufacture Vol. 3: Secondary Fibres and Non-Wood Pulping*.
- Laxén T. and Halttunen J. 1992. «Organosolv Pulping.» *Vesi – ja ympäristöhallinnon julkaisu – sarja A* 119 (in Finnish).
- Myrée B. 2000. *Straw's New Horizons*. <http://www.conox.com/literature/ppa-oct.pdf>.
- Paavilainen L. 1998. «European Prospects for Using Nonwood Fibre.» *Pulp and Paper International* 40:6.
- Proceedings*. 1992. Second International Non-wood Fibre Pulping and Papermaking Conference, 6–9 April 1992, China.
- Rappe C., Svansson S., Glas B. et. al. 1989. «On the Formation of PCDDs and PCDFs in the Bleaching of Pulp.» *Pulp and Paper Canada*.
- Rousu P. and Antila J. 2002. «Sustainable Pulp Production from Agricultural Waste.» *Resources, Conservation and Recycling* 32.
- Shatalov A.A. and Pereira H. 2005. «Arundo Donax L. Reed: New Perspectives for Pulping and Bleaching. Part 4. Peroxide Bleaching of Organosolv Pulps.» *Biosource Technology* 96.
- Stenius P. 2000. *Papermaking Science and Technology Book 3: Forest Products Chemistry*. Fapet Oy.
- Stern, B. 2003. *Making Paper From Montana's Straw*.
http://www.nativeforest.org/pdf/Straw_report.pdf.
- Tana J. and Lehtinen K.J. 1996. *The Aquatic Environmental Impact of Pulping and Bleaching Operations: An Overview*. Finnish Environment Agency (SYKE).
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2003. *Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases*. UNEP, Geneva.
www.pops.int/documents/guidance/Toolkit_2003.pdf.
- Zheng M.-H., Bao Z.-C., Wang K.-O. and Xu X.-B. 1997. «Levels of PCDDs and PCDFs in the Bleached Pulp from Chinese Pulp and Paper Industry.» *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 59.

Autres sources

AET (Alliance for Environmental Technology). 2005. *Trends in World Bleached Chemical Pulp Production: 1990–2005*. AET, Washington, D.C.

CBNS (Center for the Biology of Natural Systems). 1996. *Pulp and Paper Production, Zeroing Out the Dioxins in the Great Lakes: Within Our Reach*. CBNS, Queens College, New York.
www.cbns.qc.edu/cbns_ch5.pdf.

Chinese association of paper industry. 2005 annual report of China paper industry.

Environment Agency for England and Wales. 2000. *Technical Guidance for the Pulp and Paper Sector*. SEPA and EHS.
www.environmentagency.gov.uk/business/444304/444635/107293/?version=1&lang=_e.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 1998. *Effluent Guidelines: Final Pulp and Paper Cluster Rule*. Federal Register: April 15, 1998, Vol. 63:72. EPA, Washington, D.C.
www.epa.gov/waterscience/pulppaper/cluster.html.

FAOSTAT, <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=381&lang=en>, 22.11.2006

Göttsching L. and Pakarinen H. 2000. *Recycled Fiber and Deinking*. Fapet Oy.

Government of Australia. 1990. *Bleaching and the Environment*. Industry Commission, Pulp and Paper: Report No. 1. Australian Government Publishing Service, Canberra.
www.pc.gov.au/ic/inquiry/01pulp/finalreport/01pulp.pdf.

Government of Canada. 1992. *Canadian Pulp and Paper Mill Defoamer and Wood Chip Regulations*. SOR/92-268. Canadian Department of Justice.
www.ec.gc.ca/NOPP/DIVISION/EN/detail.cfm?par_docID=99.

Gullichsen J. and Paulapuro H. 1999. *Papermaking Science and Technology* series, 19 volumes. Fapet Oy, Jyväskylä.

Ministry of Environment in Finland. 1997. *Finnish Background Report for the EC Documentation of Best Available Techniques for Pulp and Paper Industry*. The Finnish Environment 96. Edita Ltd, Helsinki.

Pryke D.C. and Barden M.T. 2005. «Environmental Performance of Maine's Bleached Kraft Pulp and Paper Mills.» In *Proceedings*, International Pulp Bleaching Conference, June 2005.

Resource Planning and Development Commission. 2004. *Development of New Environmental Emission Limit Guidelines for Any New Bleached Eucalypt Kraft Pulp Mill in Tasmania*. Government of Tasmania, Australia. <http://www.rpdc.tas.gov.au/BEKM/pages/bekm.htm>.

United States Congress, Office of Technology Assessment. 1989. *Technologies for Reducing Dioxin in the Manufacture of Bleached Wood Pulp*. OTA-BP-O-54. United States Government Printing Office, Washington, D.C. govinfo.library.unt.edu/ota/Ota_2/DATA/1989/8931.PDF.

VTT Biotechnology. 2003. *Marcus Wallenberg Prize*. www.mwp.org.

Vu M.T.H., Alén R. and Pakkanen H. 2006. «ECF Bleaching of Bamboo Kraft Pulp.» *Paper and Timber* 88:2.

World Bank. 1998. *Pollution Prevention and Abatement Handbook 1998: Toward Cleaner Production*.
www.wds.worldbank.org/servlet/WDS_IBank_Servlet?pcont=details&eid=000094946_990409050522.

- ¹ Le terme «multiple de chlore actif» veut dire la quantité de chlore actif, ou son équivalent exprimée en tant que pourcentage de la pâte non blanchie séchée au four, divisé par l'indice kappa de la pâte non blanchie.



<http://www.pops.int>

UNEP/SSC/BATBEP/2008/4

Section V.I.M
Section V.I.L
Section V.I.K
Section V.I.J
Section V.I.I
Section V.I.H
Section V.I.G
Section V.I.F
Section V.I.E
Section V.I.D
Section V.I.C
Section V.I.B
Section V.I.A
Section V.D
Section V.C
Section V.B
Section V.A
Sections I-IV

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

Les procédés thermiques
dans l'industrie métallurgique



Le contenu de cette publication peut être reproduit à des fins éducatives ou sans but lucratif, dans son intégralité ou en partie, quelque soit le format, sans autre permission spéciale, pourvu que la source soit parfaitement identifiée. Le Secrétariat de la Convention de Stockholm et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) souhaiteraient recevoir une copie de tout ouvrage utilisant cette publication comme référence. Cette publication ne peut faire l'objet de revente ou toute autre activité commerciale sans l'accord préalable et par écrit du PNUE.

Publiée par le Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en octobre 2008. Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser au:

Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Genève, Suisse
ssc@pops.int - www.pops.int

Mise en page et impression par: SRO-Kundig - Genève

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

T A B L E D E S M A T I È R E S

SECTION I: INTRODUCTION

- I.A** OBJECTIF
- I.B** STRUCTURE DU DOCUMENT ET UTILISATION DES DIRECTIVES ET CONSEILS
- I.C** PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C: DÉFINITIONS, RISQUES, TOXICITÉ
- I.D** ARTICLE 5 ET L'ANNEXE C DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- I.E** LIEN AVEC LA CONVENTION DE BÂLE
- I.F** LIEN AVEC D'AUTRES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

SECTION II: CONSIDÉRATIONS D'ALTERNATIVES DANS L'APPLICATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

- II.A** CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES DANS LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- II.B** LA CONVENTION DE STOCKHOLM ET LES SOURCES NOUVELLES
- II.C** UNE APPROCHE À LA CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES
- II.D** AUTRES CONSIDÉRATIONS DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM

SECTION III: MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES: DIRECTIVES, PRINCIPES ET CONSIDÉRATIONS CROISÉES

- III.A** DIRECTIVES
- III.B** PRINCIPES ET APPROCHES GÉNÉRAUX
- III.C** CONSIDÉRATIONS CROISÉES:
 - (i) PRODUITS CHIMIQUES DE L'ANNEXE C: MÉCANISMES DE FORMATION
 - (ii) CONSIDÉRATIONS SUR LA GESTION DES DÉCHETS
 - (iii) EFFETS BÉNÉFIQUES ADDITIONNELS DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LES PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C
 - (iv) GESTION DES GAZ DE PROCÉDÉ ET D'AUTRES RÉSIDUS
 - (v) FORMATION DES DÉCIDEURS ET DU PERSONNEL TECHNIQUE
 - (vi) MESURES, SUIVI ET PRÉSENTATIONS DES RAPPORTS

SECTION IV: COMPILATION DES RÉSUMÉS DES CATÉGORIES DES SOURCES INCLUSES DANS LES SECTIONS V ET VI

RESUMES DE LA SECTION V: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

RESUMES DE LA SECTION VI: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

SECTION V: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DE SOURCES: CATEGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

- V.A** LES INCINÉRATEURS DE DÉCHETS
- (i) DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, DÉCHETS DANGEREUX ET DE BOUES D'ÉPURATION
 - (ii) DÉCHET MÉDICAUX
- V.B** LE BRULAGE DE DÉCHETS DANGEREUX DANS LES FOURS A CIMENT
- V.C** LA PRODUCTION DE PÂTE À PAPIER UTILISANT LE CHLORE ÉLÉMENTAIRE, OU DES SUBSTANCES CHIMIQUES GÉNÉRANT DU CHLORE ÉLÉMENTAIRE
- V.D** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
- (i) PRODUCTION DU CUIVRE SECONDAIRE
 - (ii) USINES DE FRITTAGE DANS L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER
 - (iii) PRODUCTION D'ALUMINIUM SECONDAIRE
 - (iv) PRODUCTION DU ZINC SECONDAIRE

SECTION VI: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DES SOURCES: CATÉGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

- VI.A** LA COMBUSTION À CIEL OUVERT DE DÉCHETS, Y COMPRIS DANS LES DÉCHARGES
- VI.B** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE AUTRES QUE CEUX MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE C PARTIE II
- (i) PRODUCTION DU PLOMB SECONDAIRE
 - (ii) PRODUCTION D'ALUMINIUM PRIMAIRE
 - (iii) PRODUCTION DE MAGNESIUM
 - (iv) PRODUCTION D'ACIER SECONDAIRE
 - (v) PREMIÈRE FUSION DES MÉTAUX DE BASE

VI.C	LES SOURCES DE COMBUSTION RÉSIDENTIELLES
VI.D	LA COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES DANS DES CHAUDIÈRES DE CENTRALES ET LES CHAUDIÈRES INDUSTRIELLES
VI.E	LES INSTALLATIONS DE BRÛLAGE DE BOIS ET DE COMBUSTIBLES ISSUS DE LA BIOMASSE
VI.F	LES PROCÉDÉS SPÉCIFIQUES DE PRODUCTION DE SUBSTANCES CHIMIQUES ENTRAÎNANT DES REJETS DE SUBSTANCES INSCRITES À L'ANNEXE C
VI.G	LES FOURS CRÉMATOIRES
VI.H	LES VÉHICULES À MOTEUR, NOTAMMENT CEUX UTILISANT DE L'ESSENCE AU PLOMB
VI.I	LA DESTRUCTION DE CARCASSES D'ANIMAUX
VI.J	LA TEINTURE DE TEXTILES OU DU CUIR (AU CHLORANILE) ET LA FINITION (EXTRACTION ALCALINE)
VI.K	LES INSTALLATIONS DE BROYAGE DES ÉPAVES DE VÉHICULES
VI.L	LE CHAUFFAGE LENT DE CÂBLES EN CUIVRE
VI.M	LES RAFFINERIES D'HUILES USÉES

T A B L E D E S M A T I È R E S

V.D	Les procédés thermiques dans l'industrie métallurgique	10
(i)	Production du cuivre secondaire	10
1.	Description du procédé	10
2.	Sources des produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention	13
2.1	Information générale sur les émissions venant des fonderies de cuivre secondaire	13
2.2	Emissions de PCDD/PCDF dans l'air	14
2.3	Rejets vers d'autres milieux	14
3.	Procédés recommandés	15
4.	Mesures primaires et secondaires	15
4.1	Mesures primaires	15
4.2	Mesures secondaires	16
5.	Recherche récente	18
6.	Résumé des mesures	19
7.	Niveaux de performance associée aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales	22
	Références	23
	Autres sources	23
(ii)	Usines de frittage dans l'industrie du fer et de l'acier	24
1.	Description de procédé	24
2.	Sources des produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm	26
2.1	Rejets dans l'air	26
2.2	Rejets vers d'autres milieux	28
3.	Alternatives	28
3.1	Réduction directe	28
3.2	Fusion directe	29
4.	Mesures primaires et secondaires	29
4.1	Mesures primaires	30
4.2	Mesures secondaires	33
5.	Recherche récente	35
6.	Résumé des mesures	36
7.	Niveaux de performances associées aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures techniques environnementales	40
	Références	40

(iii) Production d'aluminium secondaire	42
1. Description de procédé.....	42
2. Sources des produits chimiques listés dans l'Annexe C de la Convention de Stockholm	46
2.1 Information générale sur les émissions provenant des fonderies d'aluminium secondaire	46
2.2 Emissions de PCDD/PCDF dans l'air	47
2.3 Rejets vers d'autre mileux.....	48
3. Procédés recommandés	49
4. Mesures primaires et secondaires	49
4.1 Mesures primaires	49
4.2 Mesures secondaires	50
4.3 Meilleures pratiques environnementales.....	52
5. Recherche récente	54
6. Résumé de mesures.....	54
7. Niveaux de performances atteignables avec les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales	58
Références	59
Autres sources	59
(iv) Production du zinc secondaire	60
1. Description du procédé	60
2. Sources de produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm	63
2.1 Information générale sur les émissions venant des fonderies de zinc secondaire	63
2.2 Emissions de PCDD/PCDF dans l'air	63
2.3 Rejets vers d'autres milieux	64
3. Procédés recommandés	64
4. Mesures primaires et secondaires	65
4.1 Mesures primaires	65
4.2 Mesures secondaires	65
5. Recherche récente	67
6. Résumé des mesures	68
7. Niveaux de performance atteignable avec les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales	71
Références	72
Autres sources	72

Tableaux

Section V.D (i)

Tableau 1. Mesures pour les procédés recommandés pour les nouvelles fonderies de cuivre secondaire	19
Tableau 2. Résumé des mesures primaires et secondaires pour les fonderies de cuivre secondaire	20

Section V.D (ii)

Tableau 1. Alternatives et exigences pour les nouvelles usines de frittage de fer.....	36
Tableau 2. Résumé des mesures primaires et secondaires pour les usines de frittage du fer	37

Section V.D (iii)

Tableau 1. Mesures pour les procédés recommandés pour les nouvelles fonderies d'aluminium secondaire	54
Tableau 2. Résumé des mesures primaires et secondaires pour les fonderies d'aluminium secondaire	55

Section V.D (iv)

Tableau 1. Mesures pour les procédés recommandés relatives aux fonderies de zinc secondaire	68
Tableau 2. Résumé des mesures primaires et secondaires pour les fonderies de zinc secondaire	69

Illustrations

Section V.D (i)

Figure 1. La fusion du cuivre secondaire	12
--	----

Section V.D (ii)

Figure 1. Diagramme de procédé d'une usine de frittage	26
Figure 2. Diagramme de procédé d'une usine de frittage utilisant des épurateurs à voie humide	X

Section V.D (iii)

Figure 1. Fusion d'aluminium secondaire	44
Figure 2. Entrées et sorties dans une production d'aluminium secondaire	47

Section V.D (iv)

Figure 1. La fusion du zinc secondaire	62
--	----

(i) Production du cuivre secondaire**■ Résumé**

La fusion du cuivre secondaire comprend la production de cuivre issu de sources qui peuvent inclure des déchets de cuivre, des boues, des ordinateurs et déchets électroniques ainsi que les scories venant des usines d'affinage. Les procédés concernés par la production du cuivre sont les prétraitements des charges, leur fusion, la mise sous forme d'alliage, puis leur coulée. Les facteurs qui peuvent favoriser la formation de produits chimiques listés dans l'Annexe C de la Convention de Stockholm comprennent: la présence de métaux catalytiques (dont le cuivre est un des meilleurs exemples); des matières organiques présentes dans les charges comme dans des huiles, des plastiques et des revêtements de surface; la combustion incomplète du combustible, et des températures entre 250°C et 500°C.

Les meilleures techniques disponibles comprennent: un tri préalable, le nettoyage des matières chargées, le maintien des températures au dessus de 850°C, l'emploi de post brûleurs avec trempe rapide, l'adsorption sur charbon actif et le dépoussiérage par filtres en tissu.

Les niveaux de performances pour les émissions des PCDD/PCDF dans l'air, associés aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales pour les fonderies de cuivre secondaire sont <0,5ng I-TEQ/Nm³ (à des concentrations d'oxygène opératoires).

1. Description de procédé

La fusion du cuivre secondaire utilise des procédés pyrométallurgiques, selon la teneur en cuivre des matières charges, de la répartition de la taille des pièces et d'autres éléments. Les charges sont composées de déchets de cuivre, de boues, de déchets d'ordinateurs, de scories d'affinage et de produits semi finis. Ces matériaux peuvent contenir des matières organiques comme des revêtements ou de l'huile, et les installations de traitement en tiennent compte en effectuant un déshuilage et en retirant les revêtements de surface, ou en ayant une conception correcte des fours et un système de réduction de pollution adapté (European Commission 2001, p.201-202). Le cuivre peut être recyclé indéfiniment sans perdre ses propriétés intrinsèques.

Ce qui suit est extrait de «*Secondary Copper Smelting, Refining and Alloying*», un rapport de l'Agence de la Protection Environnementale des Etats Unis d'Amérique (EPA 1995)

«Le recyclage du cuivre secondaire consiste en quatre opérations séparées: le prétraitement de la ferraille, la fusion, la formation d'alliages, et la coulée. Le prétraitement comprend le nettoyage, et le regroupement des rebuts de cuivre en vue de la fusion. La fusion consiste à chauffer et à traiter les ferrailles pour séparer et purifier les différents métaux. La phase de formation d'alliage comprend l'addition d'un ou de plusieurs autres métaux au cuivre, afin d'obtenir les caractéristiques souhaitées, caractéristiques des combinaisons des métaux.

Le prétraitement des ferrailles peut être réalisé manuellement, mécaniquement, par pyrométallurgie ou par hydrométallurgie. Les méthodes manuelles et mécaniques comprennent le tri, la mise en morceaux par déchiquetage, puis une séparation magnétique. Le prétraitement pyrométallurgique peut inclure le ressuage (séparation des différents métaux par des changements de température dans le four destiné à faire fondre chaque métal séparément), le brûlage des isolants des fils de cuivre, et le séchage dans des fours rotatifs pour évaporer les huiles et autres composants organiques. Le prétraitement hydrométallurgique comprend une flottation et un lessivage pour récupérer le cuivre dans les scories. Le lessivage à l'acide sulfurique est utilisé pour récupérer le cuivre dans les boues, un produit venant de l'affinage électrolytique.

La fusion des ferrailles pauvres en cuivre commence par la fusion en haut fourneau ou en four rotatif, donnant un cuivre impur et des scories. Si un haut-fourneau est utilisé, ce cuivre est chargé dans un convertisseur où la pureté est ajustée à environ 80-90%, puis dans un four à réverbère où l'on peut atteindre une pureté du cuivre de l'ordre de 99%. Dans ces fours d'affinage, un fondant est ajouté au cuivre et de l'air est insufflé par le haut, afin d'oxyder les impuretés.

Ces impuretés sont alors extraites comme scories. Puis, en rendant l'atmosphère réductrice, l'oxyde de cuivre (CuO) est transformé en cuivre. Le cuivre affiné par flamme est coulé en anodes, qui sont utilisées dans l'électrolyse. Les anodes sont immergées dans une solution d'acide sulfurique contenant du sulfate de cuivre. Le cuivre se dissout des anodes et se dépose sur la cathode. Cette cathode de cuivre, qui est à au moins 99,99% de pureté est alors retirée, puis refondue. On peut éviter d'utiliser un haut-fourneau et un convertisseur, si la teneur moyenne du cuivre dans les ferrailles traitées est supérieure à environ 90%.

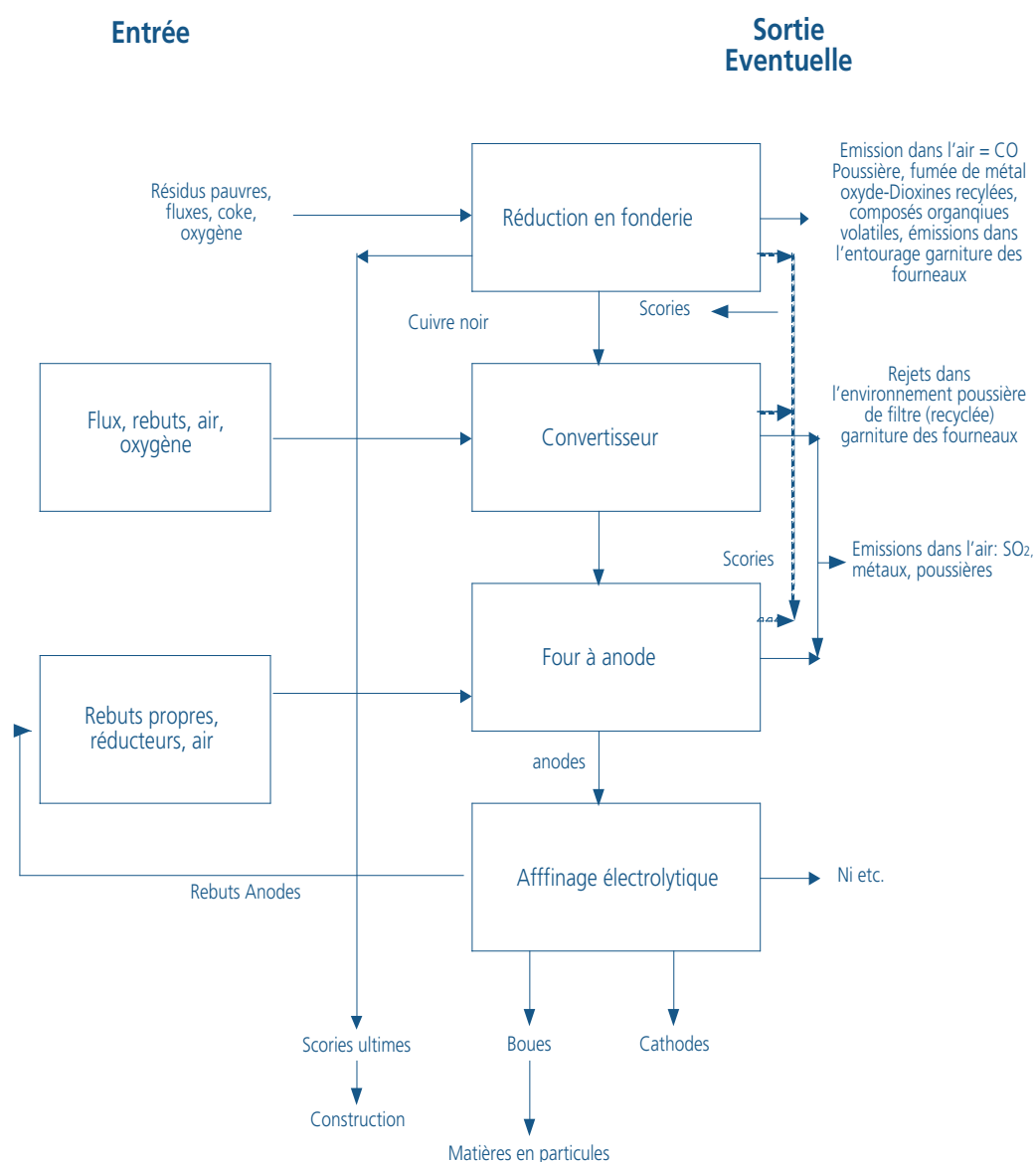
Dans la réalisation d'alliages, les rebuts et chutes de cuivre sont chargés dans un four de fusion en même temps qu'un ou plusieurs autres métaux tels que l'étain, le zinc, l'argent, le plomb, l'aluminium ou le nickel. Des fondants sont ajoutés pour éliminer les impuretés et pour protéger le bain en fusion contre l'oxydation de l'air. De l'air ou de l'oxygène pur peut être soufflé dans le bain pour ajuster la composition en oxydant l'excès de zinc. La réalisation d'alliages est, en quelque sorte, un procédé se situant

entre la fusion et l'affinage décrit ci-dessus, menant à un cuivre relativement pur.

L'étape finale du procédé de recyclage est la coulée des produits affinés ou des alliages. Le métal fondu est coulé dans des moules à l'aide de louches ou de petits godets qui servent à réguler la coulée. Les produits qui en résultent sont des barres, des lingots, des anodes, des cathodes et d'autres formes de produits coulés.»

La Figure 1 représente le procédé sous forme schématique.

■ Figure 1. La fusion du cuivre secondaire



Source: European Commission 2001, p.217

Les petites entreprises, et les entreprises artisanales, effectuant le recyclage de métaux, peuvent être nombreuses, en particulier dans les pays en voie de développement et dans les pays dont l'économie est en mutation. Ces activités peuvent contribuer de manière significative à la pollution et entraîner des effets négatifs sur la santé. Par exemple, les fonderies artisanales de zinc sont une source importante d'émission de mercure dans

l'atmosphère. La technique employée pour faire fondre en même temps le zinc et le mercure est simple: les minerais sont chauffés dans un four pendant quelques heures, menant à la formation de zinc métal et de mercure liquide. Dans bien des cas, aucun contrôle de pollution n'est réalisé avec des appareils adaptés, au cours de ces opérations. D'autres métaux, connus pour être traités dans ce type de petites sociétés artisanales de récupération, sont l'antimoine, le fer, le plomb, le manganèse, l'étain, le tungstène, l'or, l'argent, le cuivre et l'aluminium.

Ces dernières approches ne sont pas considérées comme les meilleures techniques disponibles ni comme les meilleures pratiques environnementales. Cependant, au minimum, une bonne ventilation et un bon matériel de manutention devraient être utilisés.

2. Sources des produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm.

La formation des dibenzo-*p*-dioxines polychlorées (PCDD) et des dibenzofuranes polychlorés (PCDF) est probablement due à la présence de carbone, d'oxygène, de précurseurs du chlore (venant des charges et des combustibles) et d'un catalyseur potentiellement dangereux comme le cuivre, qui peuvent venir des plastiques, des traces d'huiles se trouvant dans les matières chargées, le tout dans un système qui fournit des conditions idéales de formation, à des températures entre 200° et 450°C avec un haut niveau de particules et avec de temps de résidence longs. Comme le cuivre est le métal le plus efficace pour catalyser la formation des PCDD/PCDF, les fonderies de cuivre semblent poser le plus de risques.

2.1 Information générale sur les émissions venant des fonderies de cuivre secondaire

Les émissions aériennes polluantes comprennent des oxydes d'azote (NOx), du monoxyde de carbone (CO), des poussières et des composés métalliques, des composés organiques, et des polluants organiques persistants. Les émissions de gaz de réaction contiennent généralement peu ou pas de dioxyde de soufre (SO2), à condition que les matériaux à base de sulfures soient évités. Le traitement des ferrailles et leur fusion génèrent les quantités les plus importantes d'émissions atmosphériques. Des poussières et des composés métalliques sont émis dans la plupart des étapes du procédé et sont plus susceptibles de créer des émissions fugitives au cours des cycles de chargement et d'opérations de soutirage. Les matières particulaires peuvent être extraites des gaz collectés et refroidis, par des électrofiltres ou par des filtres en tissu. Des hottes captant les fumées sont employées au cours des étapes de conversion et d'affinage, du fait que le procédé fonctionne par lots, et que ceci empêche que l'enceinte soit fermée. Le NOx est minimisé dans les brûleurs à bas NOx, alors que le CO est brûlé dans des post brûleurs d'hydrocarbure. Les systèmes de contrôle des brûleurs sont réglés pour diminuer la création de CO au cours des opérations de fusion (European Commission 2001, p.218-229).

2.2 Emissions de PCDD/PCDF dans l'air

Les PCDD/PCDF sont formés au cours des opérations de fusion des métaux lors de combustion incomplète ou à cause d'une synthèse *de novo*, lorsque des composés organiques, tels que les huiles et plastiques, et également une source d'atomes de chlore sont présents dans les matières chargées. Les charges secondaires sont souvent des ferrailles contaminées.

Le procédé est décrit dans: European Commission 2001, p. 133:

«Les PCDD/PCDF ou leurs précurseurs peuvent exister dans les matières premières et il y a une possibilité de synthèse *de novo* dans les fours et les systèmes de réduction de la pollution. Les PCDD/PCDF sont facilement adsorbés sur des matières solides et peuvent être collectés par tout milieu environnemental tel que poussières, solides de laveurs et poussières de filtres.

La présence d'huiles et d'autres matières organiques dans les ferrailles, ou d'autres sources de carbone (combustibles incomplètement brûlés, réducteurs comme le charbon) peut produire de fines particules de charbon qui réagissent avec les chlorures inorganiques ou des atomes de chlore à liaisons organiques à des températures entre 250 et 500°C, pour donner des PCDD/PCDF. Cette réaction est connue sous le nom de «synthèse *de novo*» et est catalysée par la présence de métaux comme le cuivre et le fer.

Bien que les PCDD/PCDF soient détruits à haute température (au dessus de 850°C) en présence d'oxygène, la réaction de synthèse *de novo* est encore possible lorsque les gaz sont refroidis à travers une «fenêtre de reformation». Cette fenêtre peut exister dans les systèmes de réduction de la pollution et dans les zones plus froides d'un four, par exemple la zone de chargement. Des soins apportés à la conception des systèmes de refroidissement pour réduire le temps de séjour dans cette fenêtre sont importants pour éviter le phénomène d'une synthèse *de novo*».

2.3 Rejets vers d'autres milieux

Les eaux de procédé, de surface et de refroidissement, peuvent être contaminées par des solides en suspension, par des composés de métaux et d'huiles, tout comme par les substances listées dans l'Annexe C de la Convention de Stockholm. La plupart des eaux de procédé et de refroidissement sont recyclées. Les traitements des eaux usées devraient se faire avant le rejet des eaux. Les sous-produits et les résidus sont souvent recyclés dans le procédé, parce qu'ils contiennent des quantités suffisantes de cuivre et d'autres métaux non ferreux. Les déchets sont normalement composés de boues acides que l'on élimine sur le site. On doit faire attention à utiliser une méthode appropriée pour éliminer ces boues et résidus de contrôle de pollution, afin de diminuer l'exposition environnementale au cuivre et aux dioxines. Tout transfert vers un autre procédé devrait être soigneusement évalué dans le but de réduire et de contrôler les rejets de produits chimiques dans l'Annexe C.

3. Procédés recommandés

La conception et la configuration d'un procédé sont influencées par la variété des matières chargées et par le contrôle de la qualité. Les procédés considérés comme les meilleures techniques disponibles pour la fusion et pour la réduction comprennent les hauts fourneaux, les petits hauts fourneaux (complètement fermés), les fours rotatifs à soufflage par le haut, les fours à arc immergé scellés, et la fonderie ISA. Le four rotatif à soufflage par le haut (complètement fermé) et le convertisseur Pierce-Smith sont les meilleures techniques disponibles pour la transformation de ces métaux. Le four à arc électrique immergé est scellé et plus propre que d'autres modèles si le système d'extraction des gaz est correctement conçu et dimensionné.

L'utilisation de hauts fourneaux pour la fusion de ferrailles est devenue moins fréquente en raison des difficultés à contrôler la pollution de manière économique, et les fours à cuve verticale, sans un chargement de charbon/coke, ont de plus en plus tendance à les remplacer.

Les ferrailles de cuivre propres qui ne sont pas contaminées par des matières organiques, peuvent être traitées dans des fours à réverbère, dans des fours à cuves verticales ou par le procédé Contimelt. Ces procédés sont considérés comme les meilleures techniques disponibles, associés à des systèmes appropriés de collecte et de réduction de la pollution.

Il n'existe pas d'information sur des procédés autres que la fusion pour le traitement du cuivre secondaire.

4. Mesures primaires et secondaires

Les mesures primaires et secondaires pour la réduction et élimination des émissions des PCDD/PCDF sont considérées ci-dessous.

4.1 Mesures primaires

Les mesures primaires sont considérées comme des techniques de prévention de pollution pour réduire ou éviter la génération et le rejet des polluants persistants organiques. Les mesures possibles comprennent:

4.1.1 Tri préalable des matières chargées

La présence d'huiles, de plastiques, et de composés chlorés dans les matières chargées devra être évitée pour réduire la formation de produits listés dans l'Annexe C, au cours d'une combustion incomplète ou de synthèse *de novo*. La matière chargée devrait être classée selon la composition et selon les contaminants possibles. Le stockage, la manutention et les techniques de prétraitement seront choisis selon la taille des matériaux à charger, et selon leur degré de contamination.

Les méthodes à envisager sont (European Commission 2001 p.232):

- Enlèvement de l'huile de la charge (par ex. procédés pour retirer les revêtements, et les huiles, suivis d'une post-combustion pour détruire toute matière organique dans les gaz produits).
- Utilisation de techniques de broyage et de concassage, avec de bons niveaux d'extraction et de réduction des poussières. Les particules produites peuvent être traitées pour récupérer les métaux contenus par séparation densimétrique ou pneumatique.
- Elimination des plastiques des câbles électriques (par ex. technique possible de cryogénie qui rend le plastique cassant et donc plus facile à séparer).
- Mise en place d'un bon mélange des matières pour obtenir une charge homogène et pour favoriser des conditions stables de traitement.

Des techniques additionnelles pour retirer l'huile consistent à utiliser des solvants ou de la soude caustique. Des méthodes cryogéniques peuvent être utilisées pour enlever les revêtements des câbles.

Le lavage avec une solution détergente aqueuse est une technique potentielle complémentaire pour retirer l'huile. De cette manière, l'huile contaminée peut aussi être recyclée.

4.1.2 Contrôle efficaces des procédés

Des systèmes de contrôle de procédé devraient être mis en place pour garantir la stabilité du procédé et fonctionner à des niveaux de paramètres qui contribueront à la diminution de la formation de PCDD/PCDF, comme par exemple de maintenir la température du four au dessus de 850°C, pour détruire les PCDD/PCDF. Idéalement, les émissions de PCDD/PCDF seraient contrôlées en continu pour assurer la réduction des déchets. La possibilité de faire un échantillonnage des émissions de PCDD/PCDF en continu a été validée pour quelques secteurs d'activités (par exemple l'incinération des déchets), mais la recherche est en cours pour des applications à d'autres sources. En l'absence de contrôle en continu des PCDD/PCDF, d'autres variables comme la température, le temps de résidence, la composition des gaz et le contrôle des clapets de collecte de fumées devront être suivis en continu, et maintenus pour assurer des conditions optimales de réduction des émissions de PCDD/PCDF.

4.2 Mesures secondaires

Ces mesures sont des techniques de contrôle de la pollution. Ces méthodes n'empêchent pas la génération des contaminants mais servent au moins à contenir, à prévenir et à réduire ces émissions.

4.2.1 Captage des gaz et fumées

Les émissions dans l'air devraient être contrôlées à toutes les étapes du procédé depuis la manipulation des charges, en passant par la fusion et les points de transfert, afin de limiter les émissions potentielles des produits cités en Annexe C. Des fours étanches sont

indispensables pour contenir toute émission fugitive, tout en permettant la récupération de la chaleur et le captage des gaz de procédé pour un recyclage correcte. Une bonne conception des hottes et des canalisations est essentielle pour piéger les fumées. Un confinement des fours ou des réacteurs pourrait être nécessaire. Si l'extraction primaire et le confinement des fumées ne sont pas possibles, le four devrait être suffisamment fermé pour permettre le captage de l'air, son traitement, puis son élimination. La récupération des fumées par des conduits au niveau des toits devrait être évitée en raison de la quantité élevée d'énergie nécessaire. L'emploi de contrôles intelligents des clapets peut améliorer le captage des fumées, tout en réduisant la dimension des ventilateurs et les coûts associés. En scellant les bennes ou conteneurs de chargement, utilisés pour les fours à réverbère, on peut réduire de manière significative les émissions dans l'air, au cours des chargements (European Commission 2001, p.187-188)

4.2.2 Extraction haut rendement des poussières

Le procédé de fusion génère de grandes quantités de particules à haute surface spécifique, sur lesquelles des substances inscrites à l'Annexe C peuvent se former ou être adsorbées. Ces poussières, associées à des composés métalliques, devraient être extraites pour réduire les émissions des substances listées l'Annexe C. Les filtres en tissu représentent la technique la plus efficace, bien que les épurateurs secs ou humides, ainsi que des filtres céramiques, puissent aussi être pris en considération. Les poussières collectées doivent être traitées dans des fours à haute température pour détruire les PCDD/PCDF, et récupérer les métaux contenus.

Les opérations avec des filtres en tissu devront être suivies en continu par divers moyens pour détecter si les sacs se dégradent. D'autres développements technologiques connexes comprennent des méthodes de nettoyage en ligne et des revêtements catalytiques pour détruire les PCDD/PCDF (European Commission 2001, p.139-140)

4.2.3 Post-brûleurs et trempé

Les post-brûleurs (utilisés pour la post-combustion) devraient fonctionner à une température minimale de 950°C pour assurer une combustion totale des composés organiques (Hübner *et al.* 2000). Cette étape doit être suivie d'un rapide refroidissement des gaz à une température inférieure à 250°C. Une injection d'oxygène dans la partie supérieure du four accélèrera la combustion complète (European Commission 2001 p.189). Une information complémentaire relative aux températures optimales est donnée en Section I.

Il a été constaté que les PCDD/PCDF sont formés, sur une base nette, dans une fourchette de température allant de 250°C à 500°C. Ils sont détruits au-dessus de 850°C en présence d'oxygène. Cependant, une synthèse *de novo* reste possible lorsque les gaz sont refroidis dans la «fenêtre de reformation» existant dans les systèmes de réduction de la pollution et dans les zones plus froides des fours, si les précurseurs et les catalyseurs de métaux sont encore présents. Il faut s'assurer du fonctionnement correct du système de refroidissement, afin de réduire le temps au cours duquel les gaz qui s'échappent sont dans la fourchette de température de la synthèse *de novo* (European Commission 2001 p. 133).

4.2.4 Adsorption sur charbon actif

Un traitement par charbon actif devrait être envisagé pour extraire les substances inscrites à l'Annexe C, des gaz produit dans la fonderie. Le charbon actif possède une grande surface spécifique sur laquelle les PCDD/PCDF peuvent se fixer. Les gaz peuvent être traités par charbon actif dans des réacteurs à lit fixe ou mobile, ou par injection de particules de charbon dans le flot de gaz, suivi d'un passage en filtre à poussières, tel que des filtres très efficaces, en tissu.

5. Recherche récente

L'oxydation par voie catalytique est une technologie émergente employée dans les incinérateurs de déchets pour réduire les émissions de PCDD/PCDF. Ce procédé devrait être considéré par les fonderies de métaux de base secondaires car il a été démontré qu'il est efficace pour la destruction des PCDD/PCDF dans des incinérateurs de déchets. Toutefois, l'oxydation catalytique peut être sujette à un empoisonnement à partir de traces de métaux ou d'autres contaminants dans les gaz de procédé. Une validation serait nécessaire avant d'employer ce procédé.

Les procédés d'oxydation catalytique transforment les composés organiques en eau, en dioxyde de carbone (CO₂), et en acide chlorhydrique à l'aide d'un catalyseur en métal précieux pour augmenter la vitesse de réaction entre 370°C et 450°C. En comparaison, l'incinération a lieu typiquement à 980°C. On a montré que l'oxydation catalytique détruit les PCDD/PCDF avec un temps de résidence plus court et une plus faible consommation d'énergie pour un rendement supérieur à 99%. Il faut extraire les matières particulaires dans les gaz de procédé, avant l'oxydation catalytique, pour assurer une efficacité optimale. Cette méthode est efficace au niveau des contaminants qui se trouvent dans la phase vapeur. L'acide chlorhydrique qui en résulte est traité en passant par un épurateur pendant que l'eau et le CO₂ sont rejetés dans l'air après refroidissement (Parvesse 2001).

Des filtres en tissu pour capter les poussières peuvent aussi être traités pour y déposer une couche catalytique en vue de promouvoir l'oxydation des composés organiques à haute température.

6. Résumé des mesures

Les Tableaux 1 et 2 résument les mesures présentées dans les sections précédentes.

■ **Tableau 1. Mesures pour les procédés recommandés pour les nouvelles fonderies de cuivre secondaire**

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Procédés recommandés	Divers procédés variés devraient être considérés pour les nouvelles usines	Les procédés à considérer comprennent: <ul style="list-style-type: none">• Haut fourneau, mini fonderie, four rotatif à soufflage d'oxygène, four à arc électrique immergé étanche, fonderie ISA et convertisseur Pierce Smith• Four à réverbère à foyer fixe, four à cuve, et le procédé Contimelt pour traiter le cuivre propre évitant la contamination organique.	Ces procédés sont les meilleures techniques disponibles en combinaison avec la collecte des gaz et un système de réduction de la pollution. Le four électrique à arc immergé est scellé et peut être plus propre que les autres modèles si le système d'extraction des gaz est bien conçu et dimensionné

■ Tableau 2. Résumé des mesures primaires et secondaires pour les fonderies de cuivre secondaire

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Mesures primaires			
Tri préalable des matières chargées	Eviter présence d'huiles, plastiques, matières organiques, composés chlorés dans les matières chargées pour réduire la génération de PCDD/PCDF au cours de combustion incomplète ou de synthèse <i>de novo</i>	Les procédés à considérer comprennent: <ul style="list-style-type: none"> • Contrôle strict de l'origine des matières • Enlèvement des huiles des matériaux chargés • Broyage et déchiquetage, associés à une bonne extraction des poussières et une bonne réduction de la pollution • Pour les câbles électriques, éliminer le plastique 	Les procédés pour déshuiler et retirer les revêtements devraient être suivis d'une post-combustion pour détruire toutes les matières organiques dans les gaz produits.
Procédé de contrôle efficace	Bonne combustion. Des systèmes de contrôle du procédé devront être utilisés pour maintenir la stabilité du procédé à des niveaux de paramètres qui contribueront à diminuer la génération des produits listés dans l'Annexe C	Les émissions de PCDD/PCDF peuvent être diminuées en contrôlant d'autres variables comme la température, le temps de résidence, la composition des gaz, le contrôle des extracteurs à poussières après avoir établi les meilleures conditions opératoires pour la réduction des PCDD/PCDF	L'échantillonnage en continu des émissions a été prouvé (par ex. incinération des déchets) mais la recherche continue pour des applications à d'autres sources
Mesures secondaires			
Collecte des fumées et gaz	Leur collecte devrait être opérée à tous les stades des procédés de fonderie pour capter les émissions de PCDD/PCDF	Les procédés à envisager: <ul style="list-style-type: none"> • Fours fermés pour contenir les émissions fugitives tout en récupérant la chaleur et captant les gaz produits. Un confinement du four ou des réacteurs peut être nécessaire • Bonne conception des hottes et des canalisations pour piéger les fumées 	La collecte en ligne sur toit est à éviter: consommation importante d'énergie

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Elimination haute performances des poussières	Les poussières et composés métalliques devraient être extraits à cause de la haute surface spécifique favorisant l'adsorption des PCDD/PCDF. L'extraction de ces poussières contribuera à la réduction des émissions de PCDD/PCDF.	Les procédés comprennent: <ul style="list-style-type: none"> • Filtres en tissu (méthode la plus efficace) • Epurateurs secs ou à voie humide, et filtres céramiques 	L'extraction des poussières doit être suivie de post-brûleurs et d'un refroidissement rapide. Les poussières extraites doivent être traitées dans les fours à haute température pour détruire les PCDD/PCDF et récupérer les métaux
Post-brûleurs et trempes	Les post-brûleurs doivent travailler à plus de 950°C pour assurer la combustion complète des composés organiques suivi par un refroidissement rapide des gaz chauds à des températures inférieures à 250°C	<ul style="list-style-type: none"> • Formation de PCDD/PCDF à 250-500°C et destruction à >850°C avec O₂ • Apporter suffisamment d'O₂ dans la zone supérieure du four pour une combustion complète • Conception adaptée des systèmes de refroidissement pour réduire le temps dans la fenêtre de reformation 	Une synthèse <i>de novo</i> est encore possible lorsque les gaz se refroidissent pendant le passage dans la «fenêtre de reformation»
Adsorption sur charbon actif	Le traitement par charbon actif devrait être envisagé car le charbon possède une grande surface spécifique sur laquelle les PCDD/PCDF peut être adsorbés, en provenance des gaz de la fonderie	Traitement avec charbon actif utilisant des réacteurs à fond fixe ou mobile <ul style="list-style-type: none"> • Injection de poudre de carbone dans le flot de gaz suivi de son extraction sur filtre à poussière 	Des mélanges de chaux/charbon peuvent aussi être employés

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Recherche récente			
Oxydation catalytique	L'oxydation catalytique est une technologie émergente pour des sources de ce secteur (technologie validée pour les incinérateurs) qui devrait être envisagée en raison de sa haute efficacité et de sa faible consommation d'énergie. L'oxydation catalytique transforme les composés organiques en eau, en CO ₂ et en acide chlorhydrique en utilisant un catalyseur en métal précieux	Les considérations incluent: <ul style="list-style-type: none"> • Efficacité du procédé pour la phase vapeur des contaminants • Traitement de l'acide chlorhydrique en employant des épurateurs tandis que l'eau et le CO₂ sont rejetés dans l'air après refroidissement • Complexité, sensibilité aux conditions des gaz de procédé, coût élevé 	On a démontré que l'oxydation catalytique détruit les PCDD/PCDF avec un temps de résidence plus court, moins d'énergie et une efficacité >99% Les particules devraient être extraites des gaz, avant l'oxydation catalytique, pour une efficacité optimale

7. Niveaux de performance associée aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales

Les niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales pour les émissions dans l'air des PCDD/PCDF en provenance des fonderies de cuivre secondaire sont <0,5ng I-TEQ/Nm³ (à des concentrations d'oxygène opérationnelles).

Références

EPA (United States Environmental Protection Agency). 1995. *Secondary Copper Smelting, Refining and Alloying*. Background Report AP-42, Section 12.9. www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s09.pdf.

European Commission. 2001. *Reference Document on Best Available Techniques in the Non-Ferrous Metals Industries*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. Eippcb.jrc.es

Hübner C., Boos R., Bohlmann J., Burtsher K and Wiesenberger H. 2000. *State-of-the-Art Measures for Dioxin Reduction in Austria*. Vienna. www.ubavie.gv.at/publikationen/Mono/M116s.htm.

Parvesse T. 2001. «Controlling Emissions from Halogenated Solvents». *Chemical Processing* 64(4):48-51

Autres sources

Gunson A.J and Jian Y. 2001. *Artisanal Mining in the people's Republic of China*. Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD), International Institute for Environment and Development (IED), September 2001.

UNEP (United Nations Environment Programme), UNEP News Centre www.unep.org/Documents Multilingual/ Default.asp?DocumentID=284&ArticleID=3204&l=en, as read on 20 January 2006.

Xinbin F., Guangle Q., Guanghui L., Ping L. and Shaofeng W. 2005. «Mercury Emissions from Artisanal Zinc and Mercury Smelting in Guizhou, PR China. «Goldschmidt Conference Abstracts 2005: *The Geochemistry of Mercury* p.A705.

Xinbin F., Xianwu B., Guangle Q., Guanghui L. and Shunlin T. *Mercury Pollution in Guizhou, China: A Status Report*. pbceastwestcenter.org/abstracts2005/abstract2005/abstract2005fengxinbin.htm, as read on 29 December 2005.

(ii) Usines de frittage dans l'industrie du fer et de l'acier

■ Résumé

Les usines de frittage dans l'industrie du fer et de l'acier représentent une étape de prétraitement dans la production du fer, au cours de laquelle de fines particules de minerai de fer et dans quelques usines, des déchets d'oxyde de fer secondaire (poussières recueillies, résidus de broyage), sont agglomérées par combustion. Le frittage comprend la chauffe des fines particules du minerai de fer avec un fondant et du charbon fin ou du coke, afin de réaliser une masse semi fondue qui se solidifie en pièces frittées poreuses, avec des dimensions et caractéristiques nécessaires au chargement du haut fourneau.

Les produits listés en Annexe C semblent se former au cours du procédé, principalement via la synthèse *de novo*. C'est le PCDF qui domine généralement dans les gaz émis par de telles usines. Le mécanisme de formation des PCDD/PCDF semble commencer dans les zones supérieures des bancs de frittage peu de temps après l'allumage; les dioxines, les furanes et les autres composés se condensent alors sur la charge plus froide, en-dessous, lorsque le produit à fritter avance sur le convoyeur, dans le four à passage, vers le point de brûlage.

Les mesures primaires identifiées pour prévenir ou diminuer la formation de PCDD/PCDF au cours du frittage du fer comprennent: un cycle de production stable et cohérent, une gestion en continu des paramètres, la re-circulation des gaz de procédé, la diminution des matières de charge polluées avec des polluants organiques ou d'autres contaminants qui mènent à la formation de tels polluants, et la préparation des matières à charger.

Les mesures secondaires identifiées pour contrôler ou réduire les émissions de PCDD/PCDF dans les procédés de frittage du fer comprennent l'adsorption/l'absorption (par ex. injection de charbon actif), la suppression de la formation en ajoutant de l'urée, et un dépoussiérage haute efficacité de même qu'un lavage poussé des gaz par voie humide, combiné à un traitement efficace des eaux des laveurs et à la mise en décharge des boues d'épuration dans des décharges sécurisées.

Les niveaux de performance pour les émissions des PCDD/PCDF dans l'air associés aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales pour une usine de frittage sont $<0,2 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$ (à des concentrations d'oxygène opérationnelles).

1. Description de procédé

Les usines de frittage du fer servent à la production du fer et d'acier, souvent dans des aciéries intégrées. Le procédé de frittage est une étape de prétraitement dans la production du fer au cours de laquelle de fines particules de minerai de fer (et dans quelques usines, des déchets d'oxyde de fer secondaire poussières recueillies, chutes de broyage) sont agglomérées par combustion. Les matières chargées pour le frittage, et leur dosage, de même que les quantités utilisées en haut fourneau, sont variables;

typiquement, une plus grande partie de la charge sera du matériau fritté dans un four en Europe comparée aux pratiques de l'Amérique du Nord. L'agglomération des fines particules est nécessaire pour permettre le passage des gaz chauds pendant l'opération dans le haut fourneau (UNEP 2003, p.60).

Le frittage comprend le chauffage du minerai de fer et des particules fines, avec un fondant et des fines de coke ou charbon, pour produire une masse à moitié fondue qui se solidifie en pièces frittées poreuses, ayant les dimensions et les caractéristiques nécessaires pour alimenter le haut-fourneau. La charge humide est déposée en couche, sur un banc avançant en continu. La surface est allumée par des brûleurs au gaz, et de l'air est insufflé dans la base en mouvement, favorisant la combustion. La vitesse du convoyeur, et le débit de gaz, sont contrôlés afin d'assurer que le point d'allumage (c'est-à-dire le point où la couche de combustible en feu atteint la base de la couche de matière) a lieu juste avant que la matière frittée ne sorte. La matière frittée solidifiée est alors cassée dans un broyeur et refroidie à l'air. Les morceaux en dehors des normes sont séparés par tamisage; les gros morceaux sont broyés à nouveau, ceux trop fins sont remis dans le cycle de production pour recyclage. Les usines de frittage qui sont intégrées aux aciéries, recyclent les fines de minerai de fer venant des opérations de stockage et de manutention, et aussi celles qui sont des déchets d'oxydes de fer produits par divers systèmes de contrôle de la pollution. Le minerai de fer peut aussi être employé sur le site même des usines de frittage. (Environment Canada, 2001 p.18).

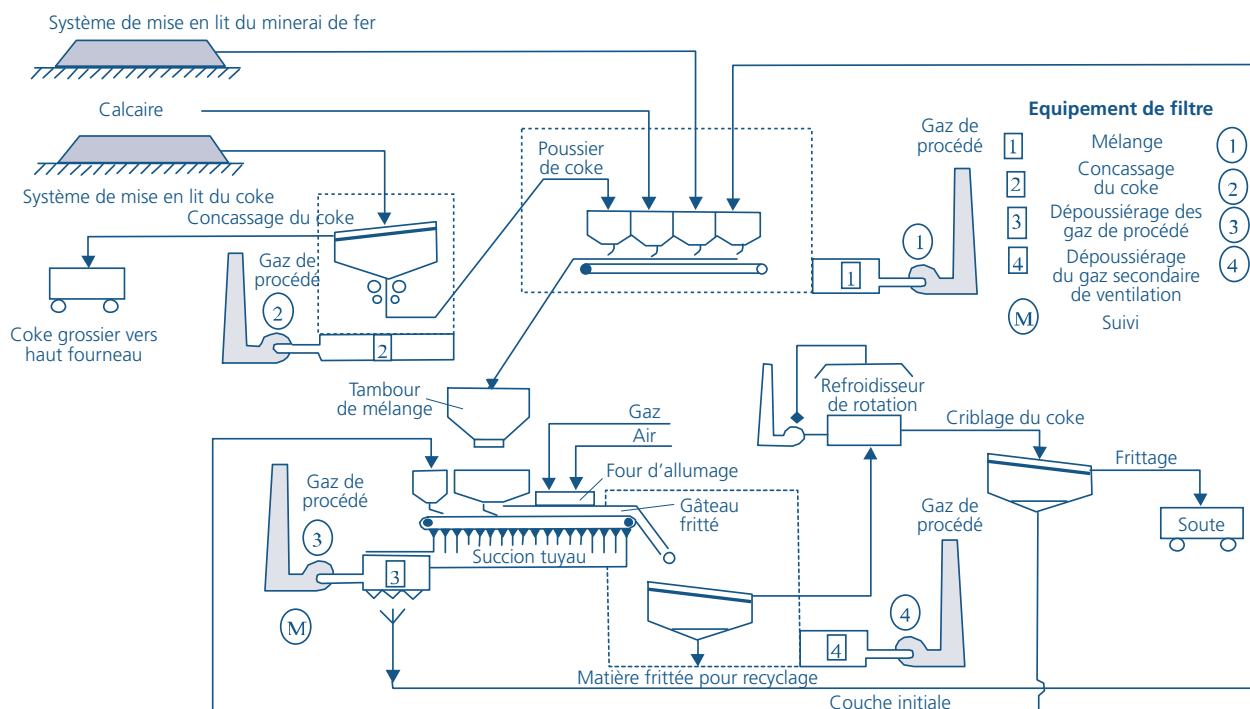
Un haut fourneau est un four vertical équipé de tuyères capables de souffler l'air chaud ou froid à l'intérieur du four, pour faire fondre son contenu. La charge à fritter est déposée par le haut du four, en couches alternées avec du coke.

La souplesse du procédé de frittage permet la transformation de divers matériaux, y compris des fines de minerais de fer, des poussières recueillies, des minerais concentrés et d'autres matières ferreuses de petite taille (par ex. des résidus de broyage), en un genre de mâchefer aggloméré (Lankford *et al.* 1985, p.305-306). Les types et les volumes de matières qui sont ainsi recyclées peuvent être très différents; ceci peut être un facteur déterminant dans la formation et le rejet de produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm.

Les gaz de procédé sont généralement traités avec des électrofiltres pour retirer les poussières; plus récemment, les filtres en tissu et (moins souvent) des épurateurs humides ont été employés. Tous ces derniers peuvent être précédés d'un cyclone ou d'un autre dispositif à inertie servant à réduire la charge allant vers le dernier appareil d'extraction.

La Figure 1 schématise une usine de frittage de fer.

■ **Figure 1. Diagramme de procédé d'une usine de frittage**



Source: United Kingdom Environment Agency, 2001

2. Sources des produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm

En ce qui concerne les émissions des produits inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm, le frittage du fer a été identifié comme une source de dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD) et de dibenzofuranes polychlorés (PCDF). La formation et le rejet d'hexachlorobenzène (HCB) et de polychlorobiphényles (PCB) doivent encore être évalués.

2.1 Rejets dans l'air

2.1.1 Information générale sur les émissions provenant des usines de frittage du fer

L'information suivante est extraite d'Environment Canada 2001, p.23-25

«Les émissions venant du procédé de frittage surviennent essentiellement lors des opérations de manutention des matières, qui mènent à des poussières dans les gaz, et aussi de la réaction de combustion sur la bande. Les gaz de combustion en provenance de cette bande contiennent des poussières entraînées directement depuis le four avec des produits de combustion tels que CO, CO₂, SO_x, NO_x, et des particules fines. Les concentrations de ces substances varient selon la qualité du combustible et des matières premières employées, de même que des conditions de combustion. Les émissions atmosphériques

comprennent aussi des composés organiques volatiles (COV) formés à partir de matière volatile dans la cendre de coke, et de chutes huileuses de broyage, etc. ainsi que des dioxines et furanes, formés à partir de matières organiques, et dans certaines conditions opératoires. Les métaux sont volatilisés à partir des matières premières utilisées, et des vapeurs acides se forment à partir d'halogénures contenus dans ces matières.

Les gaz de combustion sont le plus souvent nettoyés dans des électrofiltres (ESP), ce qui réduit fortement les émissions de poussières mais n'a qu'un effet minimal sur les émissions gazeuses. Les épurateurs à voie humide, utilisés parfois dans les usines de frittage, peuvent avoir une efficacité moindre pour la collecte des particules que les ESP, mais ont une plus grande efficacité pour les émissions gazeuses. Des quantités significatives d'huile dans les charges peuvent créer des conditions explosives dans ces ESP. Les émissions de produits frittés venant du broyage et du tamisage sont en général contrôlées par les ESP ou par les filtres en tissu. Les traitements des eaux usées, comprenant aussi des écoulements venant des zones de stockage, sont effectués dans une usine de traitement des eaux, qui peut aussi traiter des eaux venant des hauts fourneaux.

Les déchets solides comprennent des boues et des matières réfractaires générées par les systèmes de contrôle des émissions, dans les cas où ces systèmes travaillent par voie humide. Les produits frittés, en dessous de la taille désirée, sont recyclés dans la ligne de production.»

2.1.2 Emissions de PCDD et de PCDF

Les processus menant à la formation des PCDD/PCDF sont complexes. Les PCDD/PCDF semblent se former lors du frittage du fer par une synthèse *de novo*. Ce sont les PCDF qui dominent généralement dans les gaz produits par les usines de frittage. (William Lemmon and Associates Ltd.2004, p.20-21).

Le mécanisme de formation des PCDD/PCDF semble débiter dans les zones supérieures du lit de frittage peu de temps après l'allumage, à l'endroit où les dioxines/furanes et autres composés se condensent sur la partie froide, au fur et à mesure que le produit à fritter avance jusqu'au point où il est brûlé complètement. Le procédé de volatilisation et de condensation continue jusqu'à ce que la température de la charge, qui se trouve en dessous, augmente suffisamment pour empêcher une condensation, et les PCDD/PCDF sont évacués avec le courant de gaz. Ceci semble augmenter rapidement et arrive à un maximum juste avant la combustion complète, puis diminue rapidement jusqu'à un minimum. On peut faire un bon rapprochement entre le rapport des niveaux des dioxines et furanes par rapport aux courbes de température tout au long du cycle de production, et ce dans plusieurs études.

Il a été démontré que la quantité de PCDD et de PCDF formée augmente en fonction de l'augmentation de la teneur en carbone et en chlore. Ces derniers sont présents dans certaines charges à fritter qui sont typiquement traitées dans des usines de frittage.

2.1.3 Résultats de recherche pertinente

Il semble que la composition du mélange de la charge a une influence sur la formation des PCDD/PCDF, c'est-à-dire qu'une teneur plus élevée en chlore peut augmenter la formation de PCDD/PCDF et que la forme de la source du carbone semble être plus significative que la quantité de ce même carbone. La substitution du coke comme combustible par de l'antracite semble réduire la concentration des PCDD/PCDF.

Il a aussi été noté que le type de combustible solide (autre source potentielle de carbone) a un impact sur les émissions de furanes. En utilisant du charbon, du graphite ou du coke activé lors d'un programme dans un laboratoire Japonais, on a réduit les émissions de dibenzofuranes pentachlorés de 90%.

Les paramètres opératoires du procédé de frittage semblent avoir un impact sur la formation des PCDD/PCDF (William Lemmon and Associates Ltd.2004).

2.2 Rejets vers d'autres milieux

Il n'a pas été trouvé d'information sur les rejets de produits chimiques inscrits à l'Annexe C venant d'opérations de frittage du fer vers d'autres milieux tels que les eaux usées ou les poussières recueillies.

3. Alternatives

Conformément à la Convention de Stockholm, lorsque l'on étudie des propositions pour la construction d'une nouvelle usine de frittage de fer, l'attention devrait être centrée sur les procédés, techniques ou pratiques alternatifs qui ont une utilité similaire mais qui évitent la formation et le rejet des substances listées à l'Annexe C. Concernant le frittage du fer, une attention particulière devrait être accordée aux avantages que présente le frittage des déchets de fer recyclés, et à la nécessité d'utiliser des procédés de frittage traditionnels pour le fer et l'acier, employant du coke et des hauts fourneaux, de même qu'aux différentes étapes de production actuelle de l'acier et de mélanges de produits. Pour tout procédé alternatif, les avantages et inconvénients relatifs à l'environnement devraient être aussi étudiés de près. Une étude détaillée des alternatives de procédés pour la production du fer est fournie par Lockheed Martin Energy Systems, 2000 et par Augerman, 2004.

Les procédés alternatifs du frittage du fer comprennent:

3.1 Réduction directe

Cette technique, aussi appelée réduction directe du fer ou agglomération à chaud du fer, traite le minerai de fer pour produire directement un fer réduit qui peut être utilisé comme charge dans les fours à arc électrique, pour la production d'acier, dans les hauts fourneaux pour le fer, ou encore dans les fours d'aciéries à oxygène. Le gaz naturel est reformé pour donner de l'hydrogène et du dioxyde de carbone, lorsque l'hydrogène est le réducteur utilisé pour produire le fer réduit directement. La disponibilité et le coût du gaz naturel auront un impact sur le choix de cette technique.

Il existe deux nouveaux procédés de réduction des fines de minerai de fer, Circored® et Circofer®. Ces deux procédés emploient une configuration à deux étapes, qui combinent un lit à circulation fluidisée avec un lit fluidisé à ébullition. Le Circored utilise l'hydrogène comme réducteur. L'usine de Circored est la première du genre; elle a été construite à Trinidad pour une capacité de 500'000 tonnes par an de fer aggloméré à chaud, et a été mise en service en 1999. Dans le procédé Circofer, le charbon est utilisé comme réducteur. Dans quelques systèmes de réduction directe (par exemple Fastmet®), différentes sources de carbone peuvent être utilisées comme réducteur. Des exemples de source de carbone utilisables comprennent le charbon, des fines de coke et des déchets d'aciérie contenant du carbone (poussières de haut fourneau, boues, poussières de four à oxygène, chutes de broyage, poussières de four à arc électrique, poussière de frittage). Ces procédés convertissent la charge de grenaille d'oxyde de fer, de fractions fines d'oxydes, ou de déchets d'acier, en fer métallique et produisent un fer réduit directement, utilisable dans les hauts fourneaux.

Une technologie innovatrice de fusion directe à l'air, appelée procédé «Hismelt iron-making» a été développée récemment. Ce procédé a lieu sous pression dans une cuve verticale de fusion, revêtue de réfractaires et disposant d'un refroidissement à l'eau dans sa partie supérieure. Le plus grand avantage de ce procédé pour les producteurs de fer est qu'il produit du métal chaud, sans avoir recours à des fours à coke ou d'usines de frittage.

D'autres technologies brevetées comme le Tecnoled® sont décrites par Lockheed Martin Energy Systems, 2000.

3.2 Fusion directe

La fusion directe remplace la combinaison traditionnelle de l'usine de frittage, du four à coke et du haut fourneau, pour produire du fer fondu. Un certain nombre de procédés de fusion directe sont à l'étude et sont à différents stades de développement et de commercialisation.

4. Mesures primaires et secondaires

Les mesures primaires et secondaires pour réduire les émissions de PCDD/PCDF produites par des procédés de frittage du fer sont exposées ci-dessous. La plupart de cette information est extraite de William Lemmon and Associates Ltd. 2004.

L'ampleur des réductions d'émissions possible grâce à l'utilisation de mesures primaires seules n'est pas complètement comprise et peut bien dépendre fortement de chaque usine.

Un bilan des expériences sur le nettoyage des gaz venant des usines de frittage, dans des industries européennes, est présenté par Nordic Council *et al.* June 2006. Un bilan d'expériences des usines nordiques est inclus dans une revue générale des meilleures techniques disponibles, publié par Norden 2006.

4.1 Mesures primaires

Les mesures primaires sont comprises comme étant des mesures de contrôle de la pollution qui évitent ou diminuent la formation et le rejet des produits listés en Annexe C. Celles-ci s'appellent parfois des mesures d'optimisation ou d'intégration des procédés. La définition de la prévention de la pollution est: «L'utilisation de procédés, de pratiques, de matériaux, de produits ou d'énergie qui évitent ou diminuent la création de polluants et de déchets, et qui réduisent globalement les risques pour la santé de l'homme ou de l'environnement» (cf. Section III B des présentes directives).

Des mesures primaires ont été identifiées qui pourraient aider à la prévention et à la minimisation de la formation et du rejet des produits chimiques inscrits à l'Annexe C. Les réductions d'émissions spécifiques à des usines, associées à l'exécution des seules mesures primaires suivantes, ne sont pas connues et gagneraient à être évaluées. Il est recommandé que les mesures suivantes soient mises en œuvre en même temps que des mesures secondaires pour assurer la plus grande minimisation et réduction possible des émissions. Les mesures primaires identifiées sont les suivantes:

4.1.1 Opération stable et cohérente du banc de frittage

Des recherches ont montré que les PCDD/PCDF se forment dans le lit même du frittage, probablement juste au-dessus de la zone avec flammes lorsque les gaz chauds passent au travers du lit. Il a été démontré que des à-coups dans la qualité de la flamme (c'est-à-dire des conditions instables) mènent à une augmentation des émissions des PCDD/PCDF.

Les lignes de frittage devraient être organisées pour maintenir des conditions de procédé stables et cohérentes (c'est-à-dire opérations stabilisées, diminution des à-coups dans le procédé) afin de diminuer la formation et le rejet des PCDD, PCDF et autres polluants. Les conditions de gestion opérationnelle comprennent: la vitesse de la bande, la composition du lit (charges contrôlées, diminution des apports de chlore), la profondeur du lit, l'emploi d'additifs (par exemple, l'addition de chaux éteinte peut aider à réduire la formation de PCDD/PCDF), diminution des copeaux contenant de l'huile, une diminution des entrées d'air le long de la bande de frittage, la qualité des canalisations et des systèmes de traitement des gaz produits, et réduction du nombre d'arrêts de la bande de frittage. Cette approche aura également un impact sur le rendement (c'est-à-dire: productivité, qualité des frittés, efficacité énergétique) (European Commission 2001, p.47; IPPC 2001, p.39).

4.1.2 Suivi des paramètres en continu

Un système de suivi des paramètres en continu devrait être utilisé pour assurer une qualité de fonctionnement optimale de la bande de frittage et des systèmes de conditionnement des gaz produits. Divers paramètres sont mesurés, au cours des essais sur les émissions visant à déterminer la relation entre la valeur des paramètres, et le volume des émissions. Les paramètres identifiés seront alors gérés en continu et comparés aux valeurs optimales des paramètres. Les variations de ces valeurs peuvent être asservies à un système d'alarme; des actions correctives peuvent alors être lancées pour maintenir un cycle opératoire optimisé et un bon contrôle des émissions.

Les paramètres opérationnels à contrôler peuvent concerner les valeurs fixées pour les clapets des gaz, la perte de pression, le débit de l'eau de lavage des gaz, l'opacité moyenne et la vitesse de la bande.

Les opérateurs dans les usines de frittage devraient mettre en place un plan de gestion spécifique au site, pour les systèmes de suivi en continu des paramètres qui contrôlent l'installation, la performance, l'opération et l'entretien, l'assurance qualité et l'enregistrement des données, et les procédures pour présenter les résultats. Les opérateurs devraient conserver des registres indiquant la conformité de l'opération avec les exigences de gestion identifiées, ainsi que le plan d'opération et d'entretien (EPA 2003).

4.1.3 Recirculation des gaz de procédé

Il a été démontré que le recyclage des gaz émis par le frittage permettait de diminuer les émissions polluantes, et réduisait le volume des gaz produits nécessitant un traitement en fin de cycle. La recirculation d'une partie de ces gaz tout au long de la bande, ou une recirculation par section des gaz produits, peut diminuer la formation et le rejet des polluants. Pour de plus amples informations, voir ECSC 2003 et European Commission 2000, p.56-62.

Le recyclage des gaz produits par le frittage du fer peut réduire les émissions de PCDD/PCDF, de NO_x et de SO₂. Toutefois cette option peut aussi mener à une baisse de la production, peut affecter la qualité du frittage et peut mener à une augmentation de l'exposition aux poussières sur les lieux de travail et des besoins en entretien. De telles mesures demandent à être mises en œuvre avec soin, prenant en compte la possibilité qu'elles aient d'autres conséquences sur la marche globale de l'usine.

4.1.4 Sélection des matières chargées

Les substances non désirables devraient être réduites dans les charges envoyées à la bande de frittage. Ces substances indésirables comprennent les polluants persistants organiques et d'autres substances associées à la formation des PCDD/PCDF, HCB et PCB (par exemple, chlore/chlorures, carbone, précurseurs et huiles). Un mauvais contrôle des matières entrantes peut aussi affecter le rendement du haut fourneau.

Une inspection des matières à l'arrivée devrait être faite pour déterminer leur composition, leur structure et la concentration des substances associées aux polluants organiques persistants, et à leur formation. Les options pour éliminer ou réduire les substances indésirables des matières chargées devraient être identifiées. Par exemple:

- Extraction des contaminants dans les charges (par ex.: retirer l'huile des déchets d'usinage);
- Substitution de matières (par ex.: remplacement de la braise de coke par de l'antracite);
- Eviter l'emploi de matières contaminées (par ex.: éviter de traiter les poussières de frittage venant des électrofiltres, qu'on sait peuvent augmenter la formation et le rejet de PCDD et de PCDF) (Kasai *et al.* 2001);

- Spécifications des limites de concentration autorisées en substances indésirables (par exemple, la teneur en huile des matériaux chargés devrait être limitée à moins de 0,02%) (EPA 2003).
- Des procédures documentées devraient être développées et mises en application pour mener à bien ces options.

4.1.5 Préparation des matières à charger

Les matières très fines (par ex. des poussières recueillies) devraient être agglomérées de manière adéquate avant qu'elles ne soient lancées en production; toutes ces matières devraient être parfaitement mélangées. Ces mesures réduiront la formation et l'entraînement des polluants dans les gaz de procédé et diminueront également les émissions fugitives.

4.1.6 Injection d'urée

Des tests d'injection d'urée ont été réalisés dans une usine de frittage du fer en Angleterre pour supprimer la formation de dioxines et de furanes. Des quantités contrôlées de granules d'urée ont été ajoutées dans des lignes de frittage. On pense que cette technique peut prévenir ou réduire à la fois les émissions de PCDD/PCDF et celles de dioxyde de soufre. Les essais réalisés ont montré que la formation des PCDD/PCDF a été réduite d'environ 50%. On estime qu'une réduction de 50% de PCDD/PCDF équivaldrait à une concentration d'émission de 0,5ng I-TEQ/m³. Les coûts liés à l'investissement sont évalués à 0,5-1 million de livres sterling (UK) par usine (soit approximativement 0,9 – 1,8 millions de USD) (Entec UK Ltd 2003, p.D10-D20).

Un certain nombre d'usines de frittage en Europe ont testé l'addition d'urée et il en ressort que les émissions de PCDD/PCDF pourraient être réduites de 50% par l'addition de petites quantités d'urée dans le mélange pour frittage (Hartig, Steden and Lin, 2005). Cependant, il a été aussi trouvé qu'il y avait des émissions additionnelles de poussières, de NO_x et de NH₃ dans les gaz de procédés nettoyés (sans doute en utilisant des systèmes existants de prévention et de contrôle de la pollution de l'air). Aussi, tandis que des réductions significatives de SO₂ ont été notées dans quelques usines, d'autres ont indiqué que des composés d'ammoniac pouvaient affecter les mesures de SO₂, en utilisant des méthodes de mesure conventionnelles. Cependant, il n'a pas été indiqué si ces essais visaient à optimiser et à modifier des systèmes de prévention et de contrôle de la pollution de l'air pour les divers polluants. A la date de décembre 2005, il a été constaté qu'aucun membre de l'association industrielle européenne n'utilisait de l'urée dans leurs productions.

Dans la seule usine de frittage au Canada, opérée par Stelci Inc. à Hamilton, Ontario, des essais ont été menés en utilisant un nouveau procédé similaire, afin de réduire les émissions de dioxine. Stelco a trouvé qu'en fermant le four pour réduire l'oxygène, et en ajoutant une petite quantité d'urée, on pouvait modifier avec la réaction chimique qui produit des dioxines, donc réduction des émissions. Cette nouvelle configuration de procédé, combinée à des systèmes de lavage de l'air, a rejeté 177pg/m³ de dioxines au cours d'un test. Ce résultat surpasse largement la limite standard au Canada pour 2005 qui est de 500pg/Rm³, et est en dessous de la limite de 200pg/Rm³ fixée pour 2010.

Cela représente aussi une réduction de 93% par rapport à 1998 où les mesures étaient de 2700pg/Rm³. Cette amélioration n'est évidemment pas due à une extraction des dioxines pendant le lavage des gaz, mais est supposée être le résultat d'une «prévention réelle de la pollution», puisque le chlore est nécessaire à la production de dioxines, et l'urée dégage de l'ammoniac, lequel capte les chlorures dans les poussières, réduisant ainsi sa disponibilité pour la production de dioxines. (*Hamilton Spectator* 1 March 2006).

4.2 Mesures secondaires

Les mesures secondaires sont considérées comme des techniques et des technologies de contrôle de pollution, quelques fois décrites comme des traitements de fin de procédé (*end of pipe* en anglais).

Les mesures primaires décrites ci-dessus devraient être appliquées en même temps que des mesures secondaires afin d'assurer la plus grande diminution et réduction des émissions. Les mesures qui ont été effectivement validées pour minimiser et réduire les émissions de PCDD/PCDF comprennent:

4.2.1 Techniques d'extraction

4.2.1.1 Adsorption/absorption et dépoussiérage à haute efficacité

Cette technique implique l'adsorption des PCDD/PCDF sur des matières comme le charbon actif, associé à un contrôle poussé des particules fines (dépoussiérage).

Pour la technologie au charbon actif régénéré, on utilise un électrofiltre pour réduire la concentration de poussière dans les gaz de procédé avant qu'ils ne pénètrent dans l'unité de charbon actif (William Lemmon and Associates Ltd. 2004). Ces gaz passent dans un lit de granules carbonisées en léger mouvement, qui agit comme un milieu de filtrage/adsorption. Ces granules sont alors retirées et transférées dans un régénérateur chauffé à haute température. Les PCDD/PCDF adsorbés sur ces granules sont alors décomposés et détruits dans l'atmosphère inerte du régénérateur. Cette technique permet une réduction des émissions de 0,1 à <0,3 ng I-TEQ/m³.

Une autre technique de sorption consiste à injecter du lignite ou du charbon actif, en utilisant un filtre en tissu. Les PCDD/PCDF s'adsorbent sur la matière injectée, puis cette matière est récupérée dans le filtre en tissu. Associé à un bon cycle opératoire des bancs de frittage, cette technique est associée à des émissions de PCDDPCDF dans la fourchette de 0,1 à 0,5 ng I-TEQ/m³ (IPPC 2001-p.135).

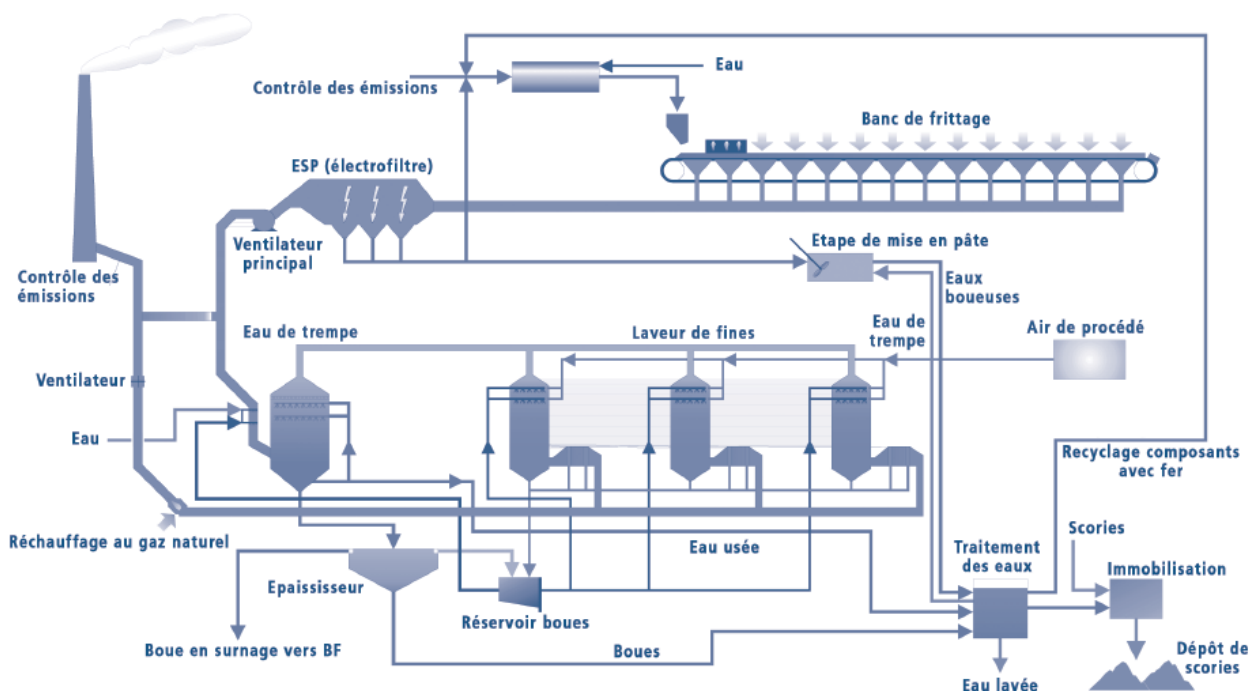
En principe, il serait possible d'injecter du carbone dans le flot des gaz, en amont des collecteurs de poussière existants, tels que des électrofiltres et filtres en tissu, comme il en existe dans certains incinérateurs pour contrôler les émissions de polluants organiques persistants. Il y a eu quelques succès en Belgique avec cette technique dans des usines de frittage de fer. Les coûts d'investissement pour ajouter du carbone aux équipements existants seraient bien moindres que ceux associés à l'addition d'un système régénérateur de charbon actif.

4.2.1.2 Système d'épuration des fines par voie humide

Le système d'épuration Airfine développé par Voest Alpine Industries (Autriche) et décrit à la Figure 2 a démontré qu'on pouvait effectivement réduire les émissions de 0,2 à 0,4 ng I-TEQ/m³. Ce système est fondé sur un contre-courant d'eau tombant sur les gaz de procédé qui montent, extrayant ainsi les grosses particules et les composants gazeux (par ex. le dioxyde de soufre, SO₂), et fournissant une trempe rapide pour les gaz. (Un électrofiltre peut aussi être utilisé en amont pour effectuer un dépoussiérage préalable). De la soude caustique peut être ajoutée pour améliorer l'absorption du SO₂. Vient ensuite un épurateur pour particules fines – le cœur du système — fonctionnant avec un jet de gouttelettes d'eau à haute pression qui extrait les impuretés du gaz. Des tuyères à double flux éjectent de l'eau et de l'air (créant une très fine vaporisation de l'eau) pour extraire les fines particules, les PCDD et les PCDF (W.Lemmon and Associates Ltd 2004, p.29-30; European Commission 2000, p.72-74).

Cette technique devrait être combinée avec des traitements efficaces des eaux usées venant des laveurs, et les boues devront être envoyées en décharge sécurisée (European Commission 2000). L'application de cette technique devrait être considérée avec beaucoup de soin quant à son application pour chaque site.

■ Figure 2. Diagramme de procédé d'une usine de frittage utilisant des épurateurs à voie humide



Source: Hofstadler et al. 2003

4.2.2 Mesures générales

Les mesures suivantes peuvent contribuer à la diminution des émissions polluantes, mais devraient être associées à d'autres mesures (c'est-à-dire adsorption/absorption, recirculation des gaz de procédé) pour un contrôle efficace de la formation et des rejets de PCDD/PCDF.

4.2.2.1 Dépoussiérage des gaz émis lors du frittage

Il a été suggéré qu'un dépoussiérage efficace pouvait aider à réduire les émissions de PCDD/PCDF. Les fines particules des gaz émis par le frittage ont une surface spécifique très grande pour l'adsorption et la condensation des gaz polluants, y compris les PCDD et les PCDF (Hofstadler *et al.* 2003). La meilleure technique disponible pour enlever les poussières fines est l'emploi de filtres en tissu. L'emploi de tels filtres en tissu est associé à des concentrations de poussières de <10 à <30 ng/m³ (UNECE 1998; IPPC 2001, p.131).

D'autres options de contrôles des poussières très fines souvent utilisées sont les électrofiltres et occasionnellement des épurateurs par voie humide, bien que leur efficacité ne soit pas au niveau des filtres en tissu. Une bonne performance des électrofiltres et des laveurs de gaz à voie humide à haute efficacité, est associée à des concentrations de poussières fines de <30 à 50 ng/m³ (IPPC 2001; William Lemmon and Associates Ltd 2004 p.26; UNECE 1998).

Des contrôles d'émission bien dimensionnés devraient être mis en place pour l'extraction des poussières et les émissions de particules.

Les filtres en tissu peuvent également être installés en aval des électrofiltres permettant la collecte et la séparation des poussières ainsi captées.

4.2.2.2 Hottes pour le banc de frittage

On peut couvrir le banc de frittage par des hottes et ainsi réduire les émissions fugitives du procédé; cela permet aussi l'emploi d'autres techniques comme la recirculation des gaz émis.

5. Recherche récente

La réduction catalytique sélective a été utilisée pour contrôler les émissions de NO_x dans de nombreux procédés, y compris dans des usines de frittage de fer. On a prouvé que des technologies de réduction catalytique sélective (c'est-à-dire en augmentant les surfaces de réaction) et des procédés catalytiques sélectionnés, décomposent les PCDD/PCDF contenus dans les gaz, très probablement à cause des réactions d'oxydation catalytique. Ceci peut être considéré comme une technique émergente à potentiel, capable de réduire les émissions de polluants organiques en provenance des usines de frittage et d'autres applications.

Une étude relative aux émissions de cheminée dans quatre usines de frittage a mis en évidence des concentrations plus faibles en PCDD/PCDF (0,995 – 2,06 ng I-TEQ/Nm³) dans les gaz de cheminée d'usines de frittage équipées de réduction catalytique sélective, par rapport à une usine non équipée (3,10ng I-TEQ/Nm³), ainsi que le fait que le degré de chloration des PCDD/PCDF était inférieur pour les usines équipées de réduction catalytique sélective. La conclusion en a été que cette réduction catalytique sélective décomposait effectivement les PCDD/PCDF, mais ne représenterait pas, seule, une technologie de destruction suffisante pour atteindre des limites d'émissions rigoureuses. Des techniques que l'on pourrait rajoutées à des usines existantes (par ex.

injection de charbon actif) seront peut-être nécessaires (Wang *et al.* 2003, p. 1123-1129).

L'oxydation catalytique peut être sujette, selon le choix du catalyseur, à un empoisonnement dû à des traces de métaux et d'autres contaminants contenus dans les gaz de procédé. Il faudrait effectuer une validation avant d'employer ce procédé. D'autres études relatives à la réduction catalytique sélective et d'autres techniques d'oxydation catalytiques dans des applications de frittage du fer seraient nécessaires pour déterminer leur valeur et leur efficacité à détruire et à réduire les rejets de PCDD/PCDF à partir de cette source.

6. Résumé des mesures

Les Tableaux 1 et 2 résument les mesures présentées dans les sections précédentes.

■ **Tableau 1. Alternatives et exigences pour les nouvelles usines de frittage de fer**

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Procédés alternatifs	La priorité devrait être accordée aux procédés alternatifs avec des impacts environnementaux potentiellement plus faibles que ceux des usines de frittage traditionnelles	Exemples : <ul style="list-style-type: none"> • Unités de production de granules • Réduction directe du fer par procédé Fasmét®, Circored® et Circofer® • Fusion directe 	
Exigences de performances	Les nouvelles usines de frittage du fer devraient atteindre des performances sévères aux niveaux des contrôlés et la présentation des résultats, correspondant aux meilleures techniques disponibles	Il faut prendre en compte les mesures primaires et secondaires listées dans le Tableau 2 ci-dessous	Les niveaux de performance associés à BAT et àBET sont : <0,2NG I-Teq/Nm3, pour les PCDDPCDF et peuvent être aussi faible que <0,1 ng I-Teq/Nm3

■ **Tableau 2. Résumé des mesures primaires et secondaires pour les usines de frittage du fer**

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Mesures primaires			
Fonctionnement stables et consistant de l'usine de frittage	Les bancs de frittage devraient fonctionner pour assurer une opération stable et consistante (conditions de régime stable, minimisation d'à-coups) pour minimiser la formation des PCDD, PCDF et autres polluants	Les conditions pour optimiser les opérations sur bancs sont: <ul style="list-style-type: none"> • Limitation des arrêts • Vitesse régulière de la bande • Composition du lit • Epaisseur du lit • Additifs (c'est-à-dire chaux éteinte) • Réduction des huiles contenues • Réduction des rentrées d'air 	Cette approche aura des effets indirects tels que l'augmentation de la productivité, l'amélioration de la qualité des frittés, l'augmentation de l'efficacité énergétique Il faudrait évaluer l'impact sur les produits listés en Annexe C, sur la base d'études spécifiques par usine
Contrôle des paramètres en continu	Un système de contrôle en continu devrait être utilisé pour assurer un fonctionnement optimisé de la bande de frittage et des systèmes de conditionnement des gaz de procédé. Les opérateurs devront préparer un plan de surveillance propre au site, pour un contrôle en continu des paramètres, et consigner les données indiquant la conformité de l'opération avec le plan	Les corrélations entre les valeurs paramétriques et les émissions des cheminées (régime stable de fonctionnement) devront être établies. Les paramètres sont alors suivis en continu pour permettre une comparaison avec les valeurs optimales. Il peut y avoir des systèmes d'alarme, permettant des actions correctives à l'occasion de déviations significatives.	
Recirculation des gaz de procédé	Les gaz de procédé peuvent être recyclés dans les bandes de frittage afin de minimiser les émissions de polluants, et réduire les volumes de gaz nécessitant un traitement en fin de procédé (end of pipe).	Une recirculation peut entraîner le recyclage d'une partie des gaz émis par l'ensemble de la bande de frittage, ou bien d'une recirculation par section de la bande.	Cette technique n'aura que peu d'influence sur la réduction des PCDD/PCDF mais peut avoir un impact important sur d'autres paramètres opérationnels et devrait être évaluée avec soin.

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
<p>Sélection des matières de charge:</p> <p>Minimisation des matières chargées contaminées par des polluants organiques persistants, ou pouvant mener à leur formation</p>	<p>Un examen des matières entrantes et l'identification de matières alternatives et/ou des procédures pour minimiser les entrées indésirables devraient être entrepris.</p> <p>Des procédures documentées devraient être développées et appliquées pour mettre en œuvre des changements appropriés</p>	<p>Des exemples comprennent:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Retirer les contaminants des charges (par ex. déshuilage des chutes de broyage) • Substitution des matières (par ex. remplacement de braises de coke par de l'antracite) • Eviter d'utiliser la matière (par ex. les poussières recueillies dans les électrofiltres) • Spécifications des limites des concentrations acceptables de substances indésirables (par ex., la teneur en huile dans la charge devrait être limitée à moins de 0,02%) 	<p>Une évaluation spécifique à l'usine serait nécessaire</p>
<p>Préparation de la charge</p>	<p>Les matières très fines par (ex. les poussières recueillies) devraient être agglomérées avant de passer dans les bandes de frittage.</p> <p>Elles devraient être mélangées soigneusement avant de passer sur les bandes</p>		<p>Ces mesures aideront à réduire l'entraînement des polluants dans les gaz produits, et réduiront les émissions fugitives</p>

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Mesures secondaires			
Les mesures secondaires suivantes peuvent réduire efficacement les émissions de PCDD/PCDF et devraient être considérées comme des exemples des meilleures techniques disponibles.			
Adsorption/absorption et dépoussiérage à haute efficacité	L'emploi de cette technique devrait inclure une étape d'adsorption combinée à un contrôle haute efficacité des particules, en tant qu'éléments clés du système de traitement des gaz	Les techniques suivantes ont été démontrées: <ul style="list-style-type: none"> • Injection de charbon, avec extraction sur électrofiltres • Technologie du charbon actif régénéré, où les gaz sont d'abord nettoyés par un électrofiltre, puis envoyés dans des lits (matière carbonisée) pour à la fois adsorber les PCDD/PCDF et filtrer les particules. Le matériau d'adsorption est ensuite régénéré • Injection de charbon actif, de lignite et autres matériaux adsorbants, dans le flux des gaz, suivie d'un dépoussiérage par passage en filtre en tissu 	Ces techniques sont associées aux niveaux de concentration des émissions de <0,3 ng I-TEQ/m ³ ; 0,1 à 0,5 ng I-TEQ/m ³ . Le rapport performance/prix des différents systèmes basés sur l'adsorption par le charbon devrait être étudié avec soin; une injection directe dans le flot des gaz serait probablement bien moins onéreuse que des systèmes sur lit de charbon régénéré
Extraction des fines dans les gaz par épurateurs humides	Cette technique devrait inclure un premier épurateur humide à contre courant pour effectuer une trempe des gaz et extraire les plus grosses particules, suivi d'un épurateur pour les fines à haute pression et à contre-courant des gaz pour retirer les particules très fines et les impuretés		Ce système d'épuration à voie humide pour les fines, nom commercial: Airfine®, a été développé par Voest Alpine Industries et a été validé pour une réduction des concentrations des émissions à 0,2 – 0,4 ng I-TEQ/m ³ Toutefois, un tel système doit être considéré avec soin pour chaque site

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Les mesures secondaires suivantes ne devraient pas être considérées comme les meilleures techniques disponibles par elles-mêmes. Pour une diminution efficace et une réduction des PCDD/PCDF et autres polluants organiques persistants, ces mesures devraient être employées en association à d'autres mesures identifiées:			
Extraction des particules fines des gaz de procédé	Les déchets gazeux devraient être traités par des techniques à haute efficacité, afin d'aider à la réduction des émissions de PCDD/PCDF. Une des meilleures techniques disponible recommandée pour le contrôle de particules est le filtre en tissu. Les zones d'entrée et de sortie de la bande de frittage devraient être convenablement couvertes et contrôlées afin de capturer et de diminuer les émissions fugitives	On a prouvé que les filtres en tissu réduisent les émissions de particules dans les gaz de <10 à <30ng/m ³	D'autres techniques de contrôles des particules comprennent les électrofiltres et les épurateurs à haute efficacité. La bonne performance de ces techniques est associée à des concentrations de particules <30 à 50 ng/m ³ . De plus faibles niveaux d'émissions de particules (et de dioxines et furanes associées) peuvent être atteints avec des filtres en tissu: <5 à 20 ng/m ³
Couverture de la bande de frittage avec hottes	La bande de frittage devrait être couverte pour minimiser les émissions fugitives du procédé		En couvrant la bande de frittage on pourra utiliser d'autres mesures, telles que la recirculation des gaz de procédé

7. Niveaux de performances associées aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales

Les niveaux de performance pour les émissions dans l'air des PCDD/PDDF associés aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales dans les usines de frittage du fer sont <0,2ng I-TEQ/m³ (aux concentrations d'oxygène opérationnelles).

Références:

Augermann, Mikko «Alternative Processes for Iron and Steelmaking-Presentation», University of Oulu, Finland, 2004

ECSC (European Coal and Steel Community).2003. The impact of ECSC Steel Research on steel production and Sustainability.
www.stahl-online.de/medien_lounge/m Medieninformationen/hintergrundmaterial.htm.

Entec UK Ltd. 2003. *Development of UK Cost Curves for Abatement of Dioxins Emissions to Air, Final Report*. Draft for consultation, November 2003.

Environment Canada. 2001. *Environmental Code of Practice for Integrated Steel Mills: CEPA 1999 Code of Practice*. Public Works and Government Services, Canada.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 2003. *National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Integrated Iron and Steel Manufacturing: Final Rule*. 40 CFR Part 63, Federal Register 68:97. EPA, Washington, D.C. www.epa.gov.

European Commission. 2000. *Reference Document on Best Available Techniques for the Production of Iron and Steel*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es.

Hamilton Spectator, Canada, 1 March 2006.

Hartig W., Stedem K.H., Lin R. (AG der Dillinger Huttenwerke), *Sinter plant gas cleaning - State of the art*, presentation at 2005 ATS International Steelmaking Conference (Paris, December 15-16, 2005) *La Revue de Metallurgie-CIT* Juin 2006.

Hofstadler K. et al. 2003. *Dioxin at Sinter Plants and Electric Arc Furnaces: Emission Profiles and Removal Efficiency*. Voest Alpine Industrienlagenbau GmbH, Austria. g5006m.unileoben.ac.at/downloads/Dioxin.doc.

IPPC (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau). 2001. *Guidance for the Coke, Iron and Steel Sector*. Sector Guidance Note IPPC S2.01. UK Environment Agency.

Kasai E. et al. 2001. «Effect of Additives on the Dioxins Emissions in the Iron Ore Sintering Process.» *ISIJ International* 41:1.

Lankford W.T., Samways N.L., Craven R.F. and MacGannon H.E. (eds.) 1985. *The Making, Shaping and Treating of Steel*. 10th Edition. Association of Iron and Steel Engineers, USA.

Nils-Olov Lindfors and Pertti Kostamo, *BAT examples from the Nordic iron and steel industry*, Norden Nordic Council of Ministers, Environment, TermNord 2006:509

Lockheed Martin Energy Systems, 2000, «Ironmaking Process Alternatives Screening Study, Volume 1» Summary Report, prepared for USA Department of Energy, LG Job No. 010529.01, October, 2000

United Kingdom Environment Agency. 2001. Integrated Pollution Prevention and Control: Guidance for the Coke, Iron and Steel Sector, Sector Guidance Note IPPC S2.01,

UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). 1998. «Best Available Techniques for Controlling Emission of Heavy Metals.» Annex III, *Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Pollution on Heavy Metals*. UNECE, Geneva. www.unece.org.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2003. *Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases*. UNEP, Geneva. www.pops.int/documents/guidance/Toolkit_2003.pdf.

Wang L.-C. et al. 2003. «Emission of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans from Stack Flue Gases of Sinter Plants.» *Chemosphere* 50:9.

William Lemmon and Associates Ltd. 2004. *Research on Technical Pollution Prevention Options for Iron Sintering*. Prepared for the Canadian Council of Ministers of the Environment, Canada. www.ccme.ca/assets/pdf/df_is_p2_ctxt_p2_strtgy_e.pdf .

(iii) Production d'aluminium secondaire

■ Résumé

La fusion d'aluminium secondaire concerne la production d'aluminium à partir de produits à base d'aluminium usagés ou de déchets de procédé, afin de récupérer des métaux par des opérations de prétraitement, de fusion et d'affinage.

On utilise des combustibles, des fondants et des alliages, tandis que le magnésium est enlevé par addition de chlore, de chlorure d'aluminium et de produits chlorés organiques. Les produits listés dans l'Annexe C de la Convention de Stockholm résultent probablement: des additions faites pour enlever le magnésium, de combustions incomplètes, de la présence de produits organiques dans les matières utilisées, de produits chlorés et aussi de leur formation dans le système à des températures entre 250° et 500°C.

Les meilleures techniques disponibles comprennent des fours haute température à technologie avancée, des charges exemptes de chlore et d'huile (si des alternatives existent), des post-brûleurs à refroidissement rapide, d'une adsorption sur charbon actif et de dépoussiérages par filtres en tissu, ainsi que le fait d'éviter l'emploi d'hexachloréthane pour retirer le magnésium du bain (*demagging*) tout en maintenant un niveau de contrôle élevé sur cette dernière opération.

Les niveaux de performance pour les émissions des PCDD/PCDF dans l'air associés aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales pour des fonderies d'aluminium secondaire sont <0,5ng I-TEQ/Nm³ (aux concentrations d'oxygène opérationnelles).

1. Description de procédé

Les procédés employés dans les fonderies d'aluminium secondaire dépendent de la nature des matières chargées. Le type de four de prétraitement et de fondants variera selon chaque installation. Le procédé de production comprend le prétraitement des ferrailles, la fusion puis l'affinage. Les méthodes de prétraitement comprennent des nettoyages par voies mécanique, pyro-métallurgique et hydro métallurgique. La fusion est réalisée soit par four à réverbère, soit par four rotatif. Les fours à induction peuvent aussi être utilisés pour fondre les matières chargées les plus propres.

Les fours à réverbère sont composés de deux parties: une zone de fusion chauffée par un brûleur au fioul, et un puits ouvert, où les ferrailles d'aluminium de différentes tailles sont déversées. Les fours rotatifs consistent en des fours horizontaux cylindriques montés sur des roulements et dont l'intérieur est revêtu de briques réfractaires. Le four est chauffé à une extrémité par du gaz ou du fioul.

Les charges consistent en déchets de procédé, canettes de boisson, bouts de feuillards et d'extrusion, déchets commerciaux, tournures et déchets de fusion ou de laminage. Les crasses provenant de la deuxième fusion sont également recyclées dans les charges. Le tri préalable avec une séparation d'alliages similaires, peut également réduire les

temps de production. Les ferrailles sont souvent contaminées par de l'huile ou par des revêtements, qui doivent être retirés pour réduire les émissions et améliorer le taux de rendement de la fusion (European Commission 2001, p.279). Le laitier de sel est traité pour récupérer le sel, qui est réutilisé comme fondant dans des fours rotatifs. Les résidus de ce sel de laitier contiennent une forte teneur en oxyde d'aluminium (Al_2O_3) et peuvent être recyclés par le procédé Bayer, ou être utilisés comme additif dans les cimenteries.

Le résumé qui suit est extrait de EPA1994:

«La plupart des usines de recyclage d'aluminium de deuxième fusion travaille par lots, lors de la fusion et de l'affinage. Le four de fusion sert à fondre les ferrailles, et à retirer les impuretés et les gaz entraînés. L'aluminium en fusion est alors pompé dans un four d'attente. Les fours d'attente sont mieux adaptés pour la réalisation finale d'alliages et pour faire les ajustements additionnels nécessaires pour que l'aluminium réponde aux spécifications requises. La coulée a lieu depuis les fours d'attente, soit dans des moules soit comme apport aux coulées continues.

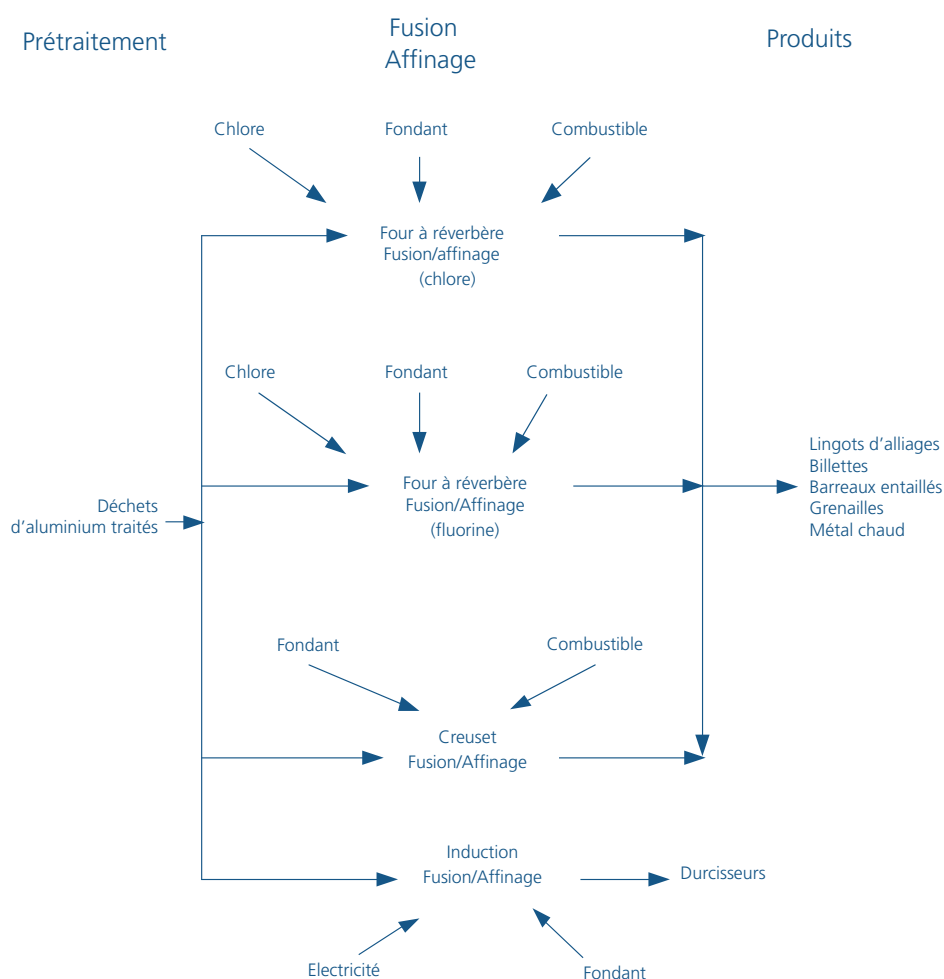
Les opérations de fusion et d'affinage peuvent inclure les étapes suivantes: chargement, fusion, ajout de fondants, réduction du magnésium (*demagging*), dégazage, alliage, enlèvement des crasses et coulage. Le chargement consiste à verser les ferrailles d'aluminium prétraitées dans un creuset d'aluminium fondu (le talon) qui est conservé dans les fours de fusion. La ferraille, mélangé à du fondant, est normalement ajoutée dans le four en train de ce remplir, où la chaleur de métal en fusion la fait fondre par conduction. Les fondants se mélangent aux contaminants et flottent à la surface du bain d'aluminium, piégeant les impuretés et créant une barrière (jusqu'à 6 pouces de haut) qui réduit l'oxydation de l'aluminium en fusion. Afin de limiter cette oxydation (perte dans le bain) des méthodes mécaniques sont employées pour immerger la ferraille dans le talon aussi rapidement que possible.

L'opération de *demagging* réduit la teneur en magnésium de la charge fondue. Autrefois, quand cette opération était faite par injection de chlore liquide, le chlore était injecté sous pression pour le faire réagir avec le magnésium pendant que le chlore bouillonnait vers à la surface. Le chlore sous pression était injecté à travers des lances en carbone, dirigées sous la surface du talon, donnant de fortes émissions de chlore. Un procédé plus récent de *demagging* de l'aluminium avec du chlore, a remplacé les lances en carbone. Du chlore, sous forme de gaz, est dosé et introduit dans le tuyau de sortie de la pompe à circulation. Il est prévu que des réductions dans les émissions de chlore (sous forme de composés chlorés) seront possibles à l'avenir. D'autres agents de chloration ou des fondants, tel que le chlorure d'aluminium anhydre ou des produits organiques chlorés, sont utilisés pour retirer le magnésium.

Le dégazage consiste à retirer les gaz entraînés dans l'aluminium en fusion. Des gaz neutres sous haute pression sont libérés sous la surface, afin d'agiter violemment le bain en fusion. Cette agitation fait que les gaz entraînés remontent à la surface, pour être absorbés par le fondant qui flotte à la surface.

Le procédé d'alliage combine l'aluminium avec un agent d'alliage dans le but de modifier sa résistance et sa ductilité. Le décrassage enlève physiquement les fondants semi solides contaminés (crasses diverses) par un raclage en surface à l'aide d'une louche».

■ **Figure 1. Fusion d'aluminium secondaire**



Les procédés de recyclage d'aluminium au niveau artisanal ou à petite échelle existent dans un bon nombre de pays. Les limites de performance atteignables ne leur sont pas applicables car les procédés ne sont pas considérés comme des meilleures techniques disponibles ou les meilleures pratiques environnementales; idéalement, ce type de procédé ne devrait pas exister. Par exemple, il peut arriver que des quantités non triées de ferraille soient fondues dans un petit creuset ou dans un four logé dans un bâtiment ou dans un endroit couvert, le plus souvent mal ventilé. Le chauffage peut être réalisé à l'aide de charbon de bois, d'huile, de déchets d'huiles ou de charbon, selon des facteurs économiques locaux et des possibilités d'approvisionnement en combustible. Dans des fours plus grands, le bain peut être traité avec des fondants et des produits

chimiques favorisant un dégazage qui améliorent la qualité de métal en fusion. Les procédés du type artisanal, en petite fonderie, peuvent rejeter de nombreux produits dans l'environnement, y compris des polluants organiques persistants. De tels procédés devraient être découragés en faveur de contrôles de pollution d'air pour les opérations réalisées en fonderie d'aluminium de deuxième fusion de plus grande taille.

Cependant, dans les cas où ces procédés sont exploités de manière artisanale et à petite échelle, on pourrait mettre en place certaines mesures dont l'objectif serait de réduire le volume de polluants rejetés dans l'atmosphère. Des mesures possibles pour réduire les émissions de polluants organiques persistants organiques, et autres polluants, dans ces petites fonderies comprennent: un tri préalable des déchets et ferrailles, le choix d'un meilleur combustible (combustibles à base d'huile ou de gaz à la place du charbon), une ventilation appropriée, la filtration des gaz émis, une gestion plus soignée des déchets et un choix plus judicieux des agents de dégazage. Adoption de ces mesures peut être facilitée par une éducation et des programmes touchant une plus grande partie de la population, en liaison avec des groupes professionnels et les autorités locales.

Un tri préalable efficace peut mener à une réduction importante des polluants organiques persistants. Le tri manuel, plutôt que mécanique, est réalisable dans certaines situations économiques, selon l'équilibre entre les coûts de main d'œuvre et les disponibilités financières. Une bonne formation et un bon encadrement permettent de rendre le tri sélectif manuel très efficace et ont le potentiel d'améliorer la consommation d'énergie et la qualité des produits, et de réduire le volume de scories à éliminer. Le séchage des matières rentrantes et le préchauffage des réfractaires, bien que nécessitant plus de combustible, réduisent la production d'hydrogène dans le bain et peuvent ainsi améliorer la qualité, sans utilisation de produits chimiques.

Une bonne ventilation des lieux de travail réduira également l'exposition aux produits nocifs. L'extraction des fumées et gaz par une cheminée ou des hottes autour des creusets, aidera à la ventilation et favorisera une certaine dispersion, par aspiration naturelle, mais ne réduira pas le volume des émissions, sauf dans la mesure où cela améliore la qualité de la combustion. Un chauffage avec du fioul ou du gaz réduira le volume des polluants organiques persistants formés.

Dans des usines plus importantes, il sera peut-être possible d'utiliser des conduits pour les gaz émis, et d'appliquer des systèmes de contrôle de la pollution. Les filtres, épurateurs à sec ou par voie humide pour la réduction des fines particules, peuvent être efficaces pour le contrôle de la pollution mais demandent une source d'électricité fiable pour faire fonctionner les ventilateurs. Les épurateurs à voie humide imposent des aménagements appropriés pour la collecte, le traitement et l'élimination sans risque des effluents. Tous les systèmes de contrôle de pollution exigent la mise en place préalable de moyens appropriés de manipulation des résidus, et des voies d'élimination. Si un système de traitement des effluents n'est pas en place, il faudrait alors choisir plutôt des appareils de contrôle de l'air fonctionnant à sec. Cependant, le stockage des particules fines est exigeant dans bien des cas, et il faudra prévoir de disposer de systèmes de stockage et de traitement de déchets pour les matériaux recueillis, jusqu'à ce qu'une voie efficace d'élimination soit identifiée. Il pourrait être bénéfique de prévoir de partager des installations, et établir une coopération régionale pour la gestion et l'élimination des déchets.

L'emploi de l'hexachloréthane comme agent de dégazage pour les opérations de réduction est considéré comme un moyen important de rejet de polluants organiques persistants. L'emploi de fluorure de potassium ou de fluorure d'aluminium potassium comme agent de dégazage a été un succès dans certaines usines plus importantes. D'autres usines importantes ont utilisé le chlore avec succès comme agent de dégazage. Sur ces sites, des dispositions appropriées sont en place pour la manipulation et la sécurité, y compris du personnel qualifié.

2. Sources des produits chimiques listés dans l'Annexe C de la Convention de Stockholm

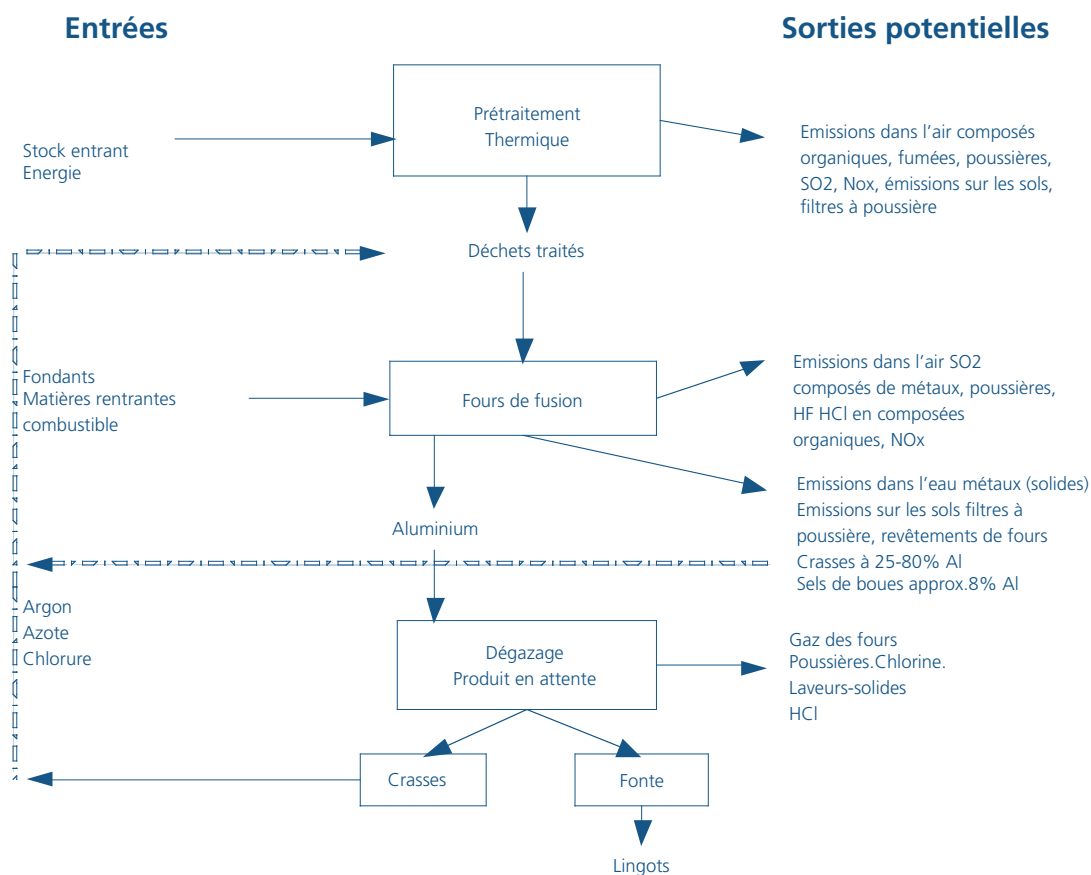
La génération de produits chimiques listés dans l'Annexe C de la Convention de Stockholm est probablement due à une combustion incomplète et à l'addition de produits pour l'élimination du magnésium (*demagging*), combinées à des conditions opératoires favorisant la formation de polluants organiques persistants.

2.1 Information générale sur les émissions provenant des fonderies d'aluminium secondaire

Les émissions potentielles dans l'air comprennent des poussières, des composés de métaux, des chlorures, des oxydes d'azote (NO_x), du dioxyde de soufre (SO₂) et des composés organiques comme les dibenzo-*p*-dioxines polychlorées (PCDD), les dibenzofuranes polychlorés (PCDF) et le monoxyde de carbone (CO). De l'ammoniaque peut aussi être généré par le stockage, traitement et transport non adaptés des crasses. Les composés chlorés peuvent être extraits en utilisant des épurateurs secs ou humides, et leur formation minimisée par un bon contrôle et l'emploi de mélanges de chlore et de gaz neutre. Des brûleurs à faible taux de NO_x des combustibles à basse teneur en soufre peuvent être utilisés pour réduire les émissions de NO_x et SO₂. (European Commission 2001, p. 294-300).

«La post-combustion est utilisée pour détruire les matières organiques qui s'échappent de la zone de combustion, tandis que l'injection de matériaux de traitement comme la chaux, le bicarbonate de soude et le carbone est également réalisé. La plupart des installations sont équipées de filtres à manche (à haute efficacité), ou de filtres en céramique pour retirer les poussières; les émissions peuvent ainsi se trouver dans la fourchette de 0,6 à 20ng/Nm³. Un pare-étincelle ou une chambre de refroidissement précède souvent des installations pour protéger les filtres. On peut récupérer de l'énergie, le plus souvent en utilisant des brûleurs spécifiques de récupération» (European Commission 2001).

■ **Figure 2. Entrées et sorties dans une production d'aluminium secondaire**



Note: la fumée et la poussière peuvent être associées à des composants organiques volatiles et à des dioxines (European Commission 2001).

2.2 Emissions de PCDD/PCDF dans l'air

Les PCDD/PCDF sont formés au cours de la fusion de l'aluminium par une combustion incomplète ou par une synthèse *de novo* lorsque des composés organiques et chlorés tels que fondants, hexachloréthane, chlore, combustibles non brûlés, huiles et plastiques sont présents dans les matières chargées. Très souvent, les matières secondaires utilisées sont composées de ferrailles contaminées.

«La présence d'huiles et autres matières organiques dans les ferrailles et autres sources de carbone (fioul et réducteurs, comme le coke, partiellement brûlé) peuvent produire de fines particules de carbone qui réagissent avec des chlorures inorganiques ou du chlore lié de manière organique, à une température oscillant entre 250 et 500°C produisant alors des PCDD/PCDF. Ce procédé est appelé «synthèse *de novo*» et est catalysée par la présence de métaux comme le cuivre ou le fer.

Bien que les PCDD/PCDF soient détruits à haute température (au dessus de 850°C) en présence d'oxygène, le procédé de synthèse *de novo* est encore possible lorsque les gaz se refroidissent pendant leur passage par la «fenêtre de reformation». Cette fenêtre peut exister dans les systèmes de contrôle de pollution et dans les zones plus froides d'un four, par exemple dans la zone de chargement. On doit apporter beaucoup de

soins aux systèmes de refroidissement afin de réduire le temps de passage dans cette fenêtre, ce qui évite une synthèse *de novo*» (European Commission 2001, p.133).

«Une mauvaise combustion du combustible ou la présence de matières organiques dans les matériaux chargés peuvent mener à des émissions de matières organiques. Des contrôles efficaces pour les brûleurs et les fours sont mis en place pour optimiser la combustion. On doit tenir compte des pics de vitesse de combustion, dus à la présence de matières organiques si on charge celles-ci dans le four. Il a été trouvé qu'un pré-nettoyage des ferrailles élimine la plus grande partie des matières organiques et améliorent le taux de fusion. L'emploi de mélanges de chlore pour dégazer et pour enlever le magnésium, et l'utilisation de chlorures (sels fondants) fourniront une source de chlore pour la formation potentielle de PCDD/PCDF» (European Commission 2001, p.297).

Selon des informations obtenues de fonderies au Japon opérant avec de l'aluminium de deuxième fusion, il a été constaté que les émissions varient avec le type de four utilisé. Le type de four émettant le plus était le four à réverbère à fond ouvert. Ces unités ont été contrôlées à une moyenne de 0,38ng I-TEQ/Nm³. On suppose que ces résultats sont dus au fait que celui-ci est le seul modèle de four qui permette l'introduction de grosses pièces de ferrailles, et que ce matériau est souvent le plus contaminé par des composés organiques qui peuvent contribuer à la formation de PCDD/PCDF (Gouvernement of Japan 2005).

2.3 Rejets vers d'autres milieux

(European Commission 2001, p.294-300)

«La production d'aluminium à partir de matières premières secondaires est essentiellement un procédé à sec. Les rejets d'eaux usées sont limités aux eaux de refroidissement, qui sont souvent remises en recirculation, et aux eaux de ruissellement de surfaces et des toits. Les ruissellements d'eaux de pluie peuvent être contaminés par leur passage dans les zones de stockage des matières premières en attente, comme des ferrailles huileuses et des solides déposés.

Les laitiers de sel sont produits lorsqu'on utilise des mélanges de sel et de chlorure de potassium pour couvrir le métal en fusion, pour le protéger de l'oxydation, pour augmenter le rendement et pour améliorer l'efficacité thermique. Ces laitiers sont généralement produits dans les fours rotatifs et peuvent avoir un impact environnemental s'ils sont déposés sur le sol. Les crasses sont utilisées comme matière première dans d'autres secteurs de l'industrie d'aluminium secondaire et sont parfois prétraitées par broyage et une classification à l'air, pour séparer l'aluminium des oxydes d'aluminium. Les filtres usagés provenant du traitement des métaux sont généralement éliminés. Dans certains cas,

lorsque l'on utilise du bicarbonate de soude pour nettoyer les gaz, les résidus solides peuvent être récupérés avec le fondant salin. Autrement, les poussières des filtres peuvent être traitées thermiquement afin de détruire les dioxines. Les revêtements intérieurs du four et les poussières peuvent être récupérées lors du traitement du laitier salin, ou mis en décharge».

3. Procédés recommandés

La conception et la configuration d'un procédé sont influencées par des différences dans les matières chargées, et le contrôle qualité. Les procédés considérés comme les meilleures pratiques disponibles sont les fours à réverbère, les fours rotatifs et ceux à inclinaison, les fours à induction et les fours verticaux type Meltower. Toutes ces techniques devraient être appliquées en association avec des systèmes de collecte et de réduction de la pollution appropriés.

Il n'existe pas d'informations disponibles à propos de procédés alternatives pour les fonderies d'aluminium secondaire.

4. Mesures primaires et secondaires

Les mesures primaires et secondaires pour réduire et éliminer les PCDD/PCDF sont considérées ci-dessous.

4.1 Mesures primaires

Celles-ci sont considérées comme les techniques de prévention de la pollution, pour réduire ou éliminer la génération et le rejet de polluants organiques persistants. Des mesures possibles comprennent:

4.1.1 Tri préalable des matières entrantes

La présence d'huile et de matières organiques (y compris des plastiques et des composés chlorés) devrait être évitée afin de réduire la génération des PCDD/PCDF au cours d'une combustion incomplète, ou par une synthèse *de novo*. Le tri des matières à charger devrait être réalisé avant la fusion, afin d'être adapté au type de four et au système de réduction de la pollution, et pour permettre le transfert des matières ne convenant pas, vers d'autres usines mieux équipées pour leur traitement. Cela permettra d'éviter ou de réduire l'emploi de fondants de sel de chlorures, au cours de la fusion.

Les déchets devraient être exempts d'huiles, de peintures et d'autres plastiques pendant le prétraitement. En retirant les composés organiques et chlorés, on réduira le potentiel de formation des PCDD/PCDF. Les méthodes utilisées comprennent la centrifugation des copeaux, leur séchage ou d'autres techniques thermiques pour retirer les revêtements. Cette dernière technique, comme le déshuilage, devrait être suivie par une post combustion qui détruira toute matière organique présente dans les gaz produits (European Commission 2001, p.310).

Des techniques de séparation de ferrailles à l'aide de laser et de courant de Foucault sont à l'étude. Ces méthodes pourraient permettre une sélection des matières plus efficace, pour le recyclage, et pourrait permettre aussi de produire les alliages recherchés dans les usines de recyclage (European Commission 2001, p.294-300).

4.1.2 Contrôle efficace de procédés

Des systèmes de contrôle de procédé devraient être utilisés pour assurer la stabilité des procédés, et un fonctionnement à des valeurs de paramètres qui contribueront à la diminution de la génération des PCDD/PCDF, comme par exemple en maintenant la température du four au-dessus de 850°C pour détruire les PCDD/PCDF. Idéalement, les émissions de PCDD/PCDF devraient être suivies de manière continue pour assurer la réduction des rejets. Un échantillonnage en continu des émissions de PCDD/PCDF a été validée dans quelques secteurs d'activité (par ex. l'incinération de déchets), mais la recherche continue dans ce domaine. En absence d'un suivi en continu des PCDD/PCDF, d'autres variables comme la température, le temps de passage, les composants du gaz et les contrôles des clapets de collecte des fumées devraient être suivis et maintenus à un niveau opératoire optimal, afin de réduire les PCDD/PCDF.

4.1.3 Extraction du magnésium du bain (demagging en anglais)

Une mesure essentielle pour contrôler les produits inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm semble être l'extraction correcte du magnésium contenu dans le bain en fusion. Il a été montré que l'emploi de tablettes d'hexachloréthane favorisait des rejets élevés de PCDD/PCDF, et plus particulièrement de l'hexachlorobenzène (HCB); cette pratique a été interdite en Europe. C'est un aspect important du procédé. Le choix d'une approche pour le *demagging* exige des vérifications soignées des différentes options car il y a des implications pour la santé et la sécurité, ainsi que pour l'environnement.

4.2 Mesures secondaires

Ces mesures sont des techniques de contrôle de pollution. Elles n'arrêtent pas la génération de contaminants, mais servent à contenir et à prévenir ces émissions.

4.2.1 Captage des gaz et fumées

Le captage des fumées et des gaz émis devrait être réalisé pour le contrôle des émissions, à toutes les étapes du procédé. Il faudrait adopter des systèmes de chargement fermés, comme pour les fours. Les émissions fugitives devraient être contrôlées en assurant une dépression d'air dans le four afin d'éviter toute fuite. Si une unité scellée n'est pas possible, il faudrait alors utiliser des hottes. Des enceintes pour les fours ou les réacteurs seront peut-être nécessaires. Là où l'extraction primaire ou le confinement des fumées n'est pas possible, le four devrait être enfermé pour que l'on puisse extraire, traiter et éliminer l'air de ventilation (European Commission 2001, p.187-188). Des avantages additionnels d'un captage des fumées et des gaz émis à partir des lignes dans les toits comprennent une réduction de l'exposition pour le personnel de production, aux fumées et aux métaux lourds.

4.2.2 Extraction à haute efficacité de la poussière

Les particules diverses générées au cours du procédé de fusion devraient être extraites parce qu'elles ont une très grande surface spécifique sur laquelle les PCDD/PCDF, les polychlorobiphényles (PCB) et les HCB peuvent être adsorbés. Une séparation et une élimination adaptées de ces poussières aideront au bon contrôle des PCDD/PCDF. Les particules très fines collectées devraient être traitées dans des fours à haute température pour détruire les PCDD/PCDF et aussi récupérer les métaux. Les méthodes à envisager sont l'emploi de filtres en tissu, des épurateurs à secs et humides, et de filtres en céramiques.

Le lavage des gaz émis avec du bicarbonate de soude enlèvera les chlorures produits par le fondant, donnant du chlorure de sodium qui peut alors être extrait dans les filtres en tissu, avant d'être repassé dans le four. De plus, l'usage de filtres à manche revêtus d'un catalyseur peut détruire les PCDD/PCDF par oxydation, tout en extrayant les particules fines sur lesquelles ces contaminants sont adsorbés (European Commission 2001, p.294-300). A noter qu'un refroidissement rapide doit être assuré (voir plus bas) pour garantir qu'une formation n'ait pas lieu dans le système de réduction.

4.2.3 Post-brûleurs et trempé

Des post-brûleurs devraient être utilisés à une température minimale de 950°C afin d'assurer la combustion complète des composés organiques (Hübner *et al.* 2000). Cette étape doit être suivie d'un refroidissement rapide des gaz chauds à des températures inférieures à 250°C. Une injection d'oxygène dans la zone supérieure du four permettra une complète combustion (European Commission 2001, p.189).

On a constaté que les PCDD/PCDF se forment dans une fourchette de température de 250° à 500°C. Ils sont détruits au dessus de 850°C, en présence d'oxygène. Cependant, une synthèse *de novo* est encore possible lorsque les gaz passent par la fenêtre de reformation qui existe dans les systèmes de réduction de pollution et dans les zones plus froides du four. Un fonctionnement adapté des systèmes de refroidissement limitant les durées du temps de reformation devrait être assurée (European Commission 2001, p.133). L'avantage de refroidir le flot des gaz avant de les laver serait de réduire leur volume, réduisant ainsi la taille des équipements de contrôle de pollution, la taille des conduits et la quantité d'énergie nécessaire à leur transport.

4.2.4 Adsorption sur charbon actif

Le traitement sur charbon actif devrait être envisagé car ce matériau est un milieu idéal sur lequel les PCDD/PCDF peuvent être adsorbés en raison de sa grande surface spécifique. Les techniques de traitement des gaz émis comprennent des réacteurs à lit fixe ou mobile, ou de l'injection de carbone dans le flot des gaz suivi de systèmes de captage des poussières à haute efficacité, tels que les filtres en tissu. Des mélanges chauds/carbone peuvent aussi être utilisés.

4.2.5 Filtre recouvert de catalyseur

Des chercheurs japonais ont effectué des recherches utilisant un filtre revêtu d'un catalyseur, et les résultats sont encourageants. Ce filtre est en deux parties: l'une collecte

la suie, l'autre qui est revêtue d'un catalyseur sert à décomposer les dioxines et les furanes. Cette expérience a montré que l'effet catalytique était réel et permettait de décomposer les dioxines et les furanes dans une fourchette de température de 180° à 200°C.

4.3 Meilleures pratiques environnementales

Les directives qui suivent sont dérivées du Japan Aluminium Alloy Refiners Association (March 2004) et peuvent être considérées comme les meilleures pratiques environnementales.

Les directives pratiques opératoires sont présentées ci-dessous. Les points principaux sont communs à ces directives:

- Ne rien acheter rien qui risque de générer de la fumée; réaliser la fusion progressivement;
- Exécuter la fusion et la combustion sans suie ni création de fumée;
- Brûler totalement et rapidement la suie et la fumée;
- Refroidir rapidement les gaz émis à haute ou moyenne température, à 170°C et en dessous;
- Contrôler le CO dans les gaz ($CO \leq 50\text{ppm}$, avec un bon ratio air/combustible).

Directives opérationnelles:

1. Sujets concernant les matériaux et ferrailles:

- Renforcer le tri avant et après avoir accepté les matières;
- Trier et éliminer les résines et les huiles;
- Trier et éliminer les substances étrangères et les résines après le déchetage;
- Renvoyer les matières sur lesquelles collent des résines ou des huiles. Ne pas les accepter à prix réduits.

2. Au moment de la combustion et de la fusion, au niveau de la zone de fusion

- Eviter d'allumer et de fermer les brûleurs sans raison, afin de réduire la génération de suie et une combustion incomplète;
- Approvisionner les matières lorsque le brûleur est en marche et faire en sorte que les fumées et les suies passent en combustion secondaire.

3. Au moment de la combustion et de la fusion en four ouvert:

- Ajuster le ratio air/combustible en mesurant les concentrations de CO et CO₂ dans le flot des gaz émis;
- Afin de chauffer et de brûler la fumée et la suie générées par les matières apportées dans le four ouvert, passer la fumée et la suie dans la flamme vive des brûleurs;

- Ajuster l'apport des matières à fondre selon l'importance de génération de fumées et de flamme (suies):
 - Equilibrer l'apport de matières qui peuvent brûler (souvent, et petit à petit);
 - Maintenir l'espace de combustion sans combustion imparfaite;
 - Ne pas laisser s'échapper les fumées par les hottes de récupération des gaz;
 - Maintenir la performance de l'extracteur de poussières (par des inspections régulières et le remplacement des manches).
4. Au moment de l'extraction du magnésium (*demagging*):
- Maintenir l'intervalle entre l'extinction du brûleur et le lancement du procédé avec du chlore, et entre la fin du traitement au chlore et l'allumage du brûleur, à une valeur de 5 à 10 minutes, tout en assurant une bonne aspiration de l'air (élimination des gaz résiduels);
 - Améliorer l'efficacité en augmentant la température initiale du traitement du métal en fusion;
 - Trier les mélanges des matières, en fonction de leur teneur en magnésium;
 - Normaliser la quantité du chlore comme celle du fondant utilisé.
5. Au moment du séchage des tournures
- Exiger une amélioration des poussières chargées de manière excessive dans les huiles de coupe (avec une haute teneur en chlore);
 - Réchauffer à haut température, maintenir les gaz émis lors du passage en four de séchage, puis refroidir rapidement ces gaz (c'est-à-dire assurer un bon contrôle de la température);
 - Mesurer régulièrement la teneur en CO dans les gaz qui s'échappent;
6. Au moment où l'on retire la peinture et où l'on charge les canettes (canettes de boissons usagées):
- Retirer les matières étrangères, comme les plastiques et les sacs en plastiques;
 - Stabiliser l'opération du four de réchauffage avec un taux de recirculation et température des gaz émis constants.
7. De manière générale:
- Entretenir et inspecter la capacité du collecteur de poussières, le remplacement des sacs, les cycles de vibrations, et les pressions d'aspiration;
 - Mettre en œuvre régulièrement une formation sur l'environnement pour le personnel de la fonderie;
 - Fixer des objectifs de concentration de dioxines et de furanes (<1ng I-TEQ/Nm³) aux usines existantes.

5. Recherche récente

L'oxydation catalytique est une technologie émergente utilisée dans les incinérateurs de déchets pour éviter les émissions de PCDD/PCDF. Cette technologie devrait être envisagée par les fondeurs de métaux primaires, car elle a prouvé son efficacité pour la destruction des PCDD/PCDF dans des incinérateurs de déchets. Cependant, l'oxydation catalytique peut être empoisonnée, selon le catalyseur choisi, par des traces de métaux et d'autres contaminants présents dans les gaz émis. Des travaux de validation devraient être faits avant d'employer ce procédé.

L'oxydation catalytique transforme les composés organiques en eau, en dioxyde de carbone (CO₂) et en acide chlorhydrique, en utilisant un catalyseur en métal précieux, pour augmenter le taux de réaction entre 370°C et 450°C, alors qu'une incinération se passe typiquement à 980°C. Il a été démontré que l'oxydation catalytique détruisait les PCDD/PCDF avec des temps de passage plus courts, une consommation d'énergie plus basse et une efficacité à 99%; on devrait donc l'envisager. Les gaz émis devraient subir un dépoussiérage avant l'oxydation catalytique, pour une efficacité optimale. Cette technologie est efficace pour traiter les contaminants en phase gazeuse. L'acide chlorhydrique qui en résulte est traité dans un épurateur tandis que l'eau et le CO₂ sont rejetés dans l'air, après avoir été refroidis. (Parvesse 2001).

6. Résumé de mesures

Les Tableaux 1 et 2 présentent un résumé des mesures considérées dans les précédentes sections.

■ **Tableau 1. Mesures pour les procédés recommandés pour les nouvelles fonderies d'aluminium secondaire**

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Procédés recommandés	Divers procédés de fusion sont à considérer pour les nouvelles usines	Les procédés comprennent: four à réverbère rotatif, basculant, à induction et à cuve verticale Meltower	Toutes les techniques devraient être utilisées, combinées avec un bon captage des gaz et des systèmes de réduction

■ **Tableau 2. Résumé des mesures primaires et secondaires pour les fonderies d'aluminium secondaire**

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Mesures primaires			
Tri préliminaire des mesures de départ	La présence d'huiles, de plastiques et de composés chlorés dans les apports doit être évitée pour réduire la génération des PCDD/PCDF au cours de combustion incomplète ou de synthèse <i>de novo</i>	Les procédés à envisager comprennent: <ul style="list-style-type: none"> • Prévention ou réduction de l'emploi de sels chlorés, selon possibilités • Nettoyage des déchets pour enlever huiles, peintures et plastiques pendant un prétraitement • Emploi de techniques pour enlever les revêtements, telles qu'une centrifuge à tournures ou un sécheur à tournures 	Le tri des matières premières devrait être réalisé avant la fusion, pour être adapté au type de four et système anti pollution, et pour permettre le transfert sur d'autres sites mieux adaptés pour leur traitement. Les traitements de déshuilage et décapage des surfaces devraient être suivis d'une post calcination, pour détruire les matières organiques dans les gaz émis
Contrôle efficace de procédé	Des systèmes de contrôle de procédés devraient être utilisés pour garantir la stabilité du procédé, à des valeurs de paramètres qui minimiseront la formation de PCDD/PCDF	Les émissions de PCDD/PCDF peuvent être réduites en contrôlant d'autres variables telles que la température, le temps de résidence, les composants des gaz, et l'ouverture des clapets de collecte de fumée, après avoir établi le mode opératoire optimal pour la réduction des PCDD/PCDF	On a démontré la possibilité de contrôler les émissions de PCDD/PCDF en continu dans quelques secteurs (incinération de déchets), mais la recherche se poursuit dans ce domaine
Choix des produits pour retirer le magnésium (le <i>demagging</i>)	Choisir soigneusement les produits et le procédé de contrôle, pour s'assurer que les gaz émis sont traités	L'emploi d'hexachloréthane pour retirer le magnésium peut mener à des rejets importants de PCDD/PCDF, mais le procédé a des avantages significatifs	

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Mesures secondaires			
Captage des gaz et fumées	Un captage efficace des gaz et fumées devrait être mise en œuvre pour les émissions vers l'air à toutes les étapes du procédé	Les procédés à considérer comprennent: <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de fours et de systèmes de chargement fermés • Contrôle des émissions fugitives en maintenant une dépression dans le four pour éviter les fuites • Utilisation de hottes, si une unité fermée n'est pas possible • Utilisation d'enceintes pour les fours ou les réacteurs 	Lorsque l'extraction primaire et le confinement des fumées ne sont pas réalisables, le four devrait être enfermé pour permettre d'extraire l'air par ventilation, le traiter puis l'éliminer
Enlèvement haute efficacité des poussières	Les particules fines générées pendant la fusion devraient être retirées car elles ont une très grande surface spécifique sur laquelle les PCDD/PCDF peuvent être adsorbés. Une bonne séparation et élimination de ces poussières aideront à les contrôler	Les procédés à considérer: <ul style="list-style-type: none"> • Filtres en tissu, épurateurs secs/humides et filtre en céramique • Revêtement catalytique sur les filtres à manches pour détruire les PCDD/PCDF par oxydation tout en captant les fines particules sur lesquelles ces contaminants ont été adsorbés 	Les fines particules devraient être traitées dans des fours à haute température pour détruire les PCDD/PCDF et récupérer les métaux.

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Post brûleurs et trempe rapide	Les post brûleurs devraient fonctionner >950°C pour assurer une combustion complète des composés organiques suivi d'un refroidissement rapide des gaz chauds à une température <250°C	Les considérations comprennent: <ul style="list-style-type: none"> • Formation de PCDD/PCDF à 250°C-500°C, et destruction >850°C avec O₂ • Nécessité de quantité suffisante d'O₂ dans la zone supérieure du four pour combustion complète • Nécessité d'une bonne conception des systèmes de refroidissement pour réduire le temps de reformation 	Une synthèse <i>de novo</i> est encore possible puisque les gaz sont refroidis en passant par la fenêtre de reformation
Adsorption sur charbon actif	Le traitement par charbon actif devrait être considéré car ce matériau est un milieu idéal sur lequel les PCDD/PCDF peuvent être adsorbés, en raison de sa grande surface spécifique	Procédés à considérer: <ul style="list-style-type: none"> • Traitement avec charbon actif sur réacteurs à lit fixe ou mobile • Injection de charbon dans le flux de gaz, suivie d'un dépoussiérage à haute efficacité, par ex. avec filtres en tissu 	Des mélanges de chaux/charbon peuvent aussi être utilisés

Recherche récente

Oxydation catalytique	L'oxydation catalytique est une technique émergente qui devrait être considérée en raison de sa haute efficacité et de sa faible consommation d'énergie. L'oxydation catalytique transforme les composés organiques en eau, en dioxyde de carbone (CO ₂) et en acide chlorhydrique, par l'emploi de catalyseur à métaux précieux	Les considérations comprennent: <ul style="list-style-type: none"> • Efficacité du procédé pour la phase vapeur du contaminant • Traitement de l'acide chlorhydrique par laveurs pendant que l'eau et le CO₂ sont rejetés dans l'air après refroidissement 	Il a été démontré que l'oxydation catalytique détruit les PCDD/PCDF avec des temps de résidence plus courts, une consommation d'énergie plus faible et une efficacité à 99% Les gaz émis devraient être dépoussiérés avant l'oxydation catalytique pour une efficacité optimale
-----------------------	--	---	--

7. Niveaux de performances atteignables avec les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales

Les niveaux de performance pour les émissions de PCDD/PCDF dans l'air pour les fonderies d'aluminium secondaire, associés aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales, sont $<0,1 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$ (à des concentrations d'oxygène opérationnelles).

Références

- EPA (United States Environmental Protection Agency). 1994. *Secondary Aluminium Operations*. Background Report AP-42, Section 12.8. www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s08.pdf.
- European Commission. 2001. *Reference Document on Best Available Techniques in the Non-Ferrous Metals Industries*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es.
- Government of Japan. 2005. *Technical Information on Measures for Dioxins Discharge Control at Secondary Aluminum Refineries*. Government of Japan, Ministry of Economy, Trade and Industry.
- Hübner C., Boos R., Bohlmann J., Burtscher K. and Wiesenberger H. 2000. *State-of-the-Art Measures for Dioxin Reduction in Austria*. Vienna. www.ubavie.gv.at/publikationen/Mono/M116s.htm.
- Japan Aluminium Alloy Refiners Association. 2004. *New Operation Guidelines to Suppress DXNs Emissions Exhaust Gas*.
- Parvesse T. 2001. «Controlling Emissions from Halogenated Solvents.» *Chemical Processing* 64(4):48–51.

Autres sources

- Brodie D.J. and Schmidt H.W. 1999. «Custom-Designed Fluid Bed Calciner for Nabalco Pty Ltd.» In: *Proceedings of 5th International Alumina Quality Workshop*, 21–26 March 1999, Bunbury, Australia.
- Gunson A.J. and Jian Y. 2001. *Artisanal Mining in The People's Republic of China*. Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD), International Institute for Environment and Development (IIED), September 2001.
- Schmidt H.W. and Stockhausen W. 2002. «Latest Developments in Circulating Fluid Bed Calcination Based on Operating Experience of Large Calciners.» In: *Proceedings of 6th International Alumina Quality Workshop*, 8–13 September 2002, Brisbane, Australia.
- Schmidt H.W., Stockhausen W. and Silberberg A.N. 1996. «Alumina Calcination with the Advanced Circulating Fluid Bed Technology.» In: *Light Metals* (ed. Hale W.) TMS, Pennsylvania, United States.
- UNEP (United Nations Environment Programme). UNEP News Centre. www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=284&ArticleID=3204&I=en, as read on 20 January 2006.
- Xinbin F., Guangle Q., Guanghui L., Ping L. and Shaofeng W. 2005. «Mercury Emissions from Artisanal Zinc and Mercury Smelting in Guizhou, PR China.» *Goldschmidt Conference Abstracts 2005: The Geochemistry of Mercury* p. A705.
- Xinbin F., Xianwu B., Guangle Q., Guanghui L. and Shunlin T. *Mercury Pollution in Guizhou, China: A Status Report*. pbc.eastwestcenter.org/abstracts2005/abstract2005fengxinbin.htm, as read on 29 December 2005.

(iv) Production du zinc secondaire

■ Résumé

La production de zinc de deuxième fusion concerne la production de zinc à partir de matières comme les poussières venant de la production d'alliages de cuivre et des aciéries à arc électrique, ainsi que des résidus provenant du déchetage de déchets d'acier et de procédés de galvanisation.

Les procédés de production comprennent le tri, le prétraitement par nettoyage, le broyage, le ressuage en fours à 364°C, l'affinage, la distillation et la transformation en alliages. Des contaminants dans les matières premières utilisées, une mauvaise combustion et des températures entre 250°C et 500°C peuvent donner lieu à la formation des produits inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm.

Les meilleures techniques disponibles comprennent le nettoyage des matières, le maintien des températures au dessus de 850°C, une bonne collecte des fumées et des gaz, des post brûleurs associés à un refroidissement rapide, une adsorption sur charbon actif et un dépoussiérage par filtres en tissu.

Les niveaux de performance pour les émissions des PCDD/PCDF dans l'air, associés aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales pour les fonderies de zinc secondaire sont $<0,5 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$ (à des concentrations d'oxygène opérationnelles).

1. Description de procédé

La fusion du zinc secondaire comprend le traitement de ferrailles de zinc provenant de sources variées. Les matières premières utilisées comprennent des poussières venant de la production d'alliages de cuivre et de la production d'acier par arc électrique (les deux sont susceptibles d'être contaminés par les produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm), des résidus issus du broyage des ferrailles en acier, et des déchets venant de procédé de galvanisation. Le type de procédé utilisé dépend de la pureté du zinc, de sa forme et de son degré de contamination. Les déchets sont traités en tant que poussières de zinc, oxydes ou plaques. Les trois étapes principales de la production sont le prétraitement, la fusion et l'affinage (EPA 1981).

Au cours du prétraitement, les déchets sont triés selon leur teneur en zinc et selon les exigences des procédés; ils sont nettoyés, broyés puis classés par dimensions. On utilise un four de ressuage pour fondre ces déchets à 364°C. Seul le zinc fond à cette température, alors que les autres métaux restent à l'état solide. Le zinc en fusion est vidé par le fond du four et récupéré. Les déchets qui restent sont refroidis, récupérés et revendus à d'autres transformateurs.

Le prétraitement peut inclure un lessivage par une solution de carbonate de soude pour transformer les crasses et autres déchets en oxyde de zinc, qui sera réduit en zinc métal. L'oxyde de zinc est raffiné dans des fonderies de zinc primaire.

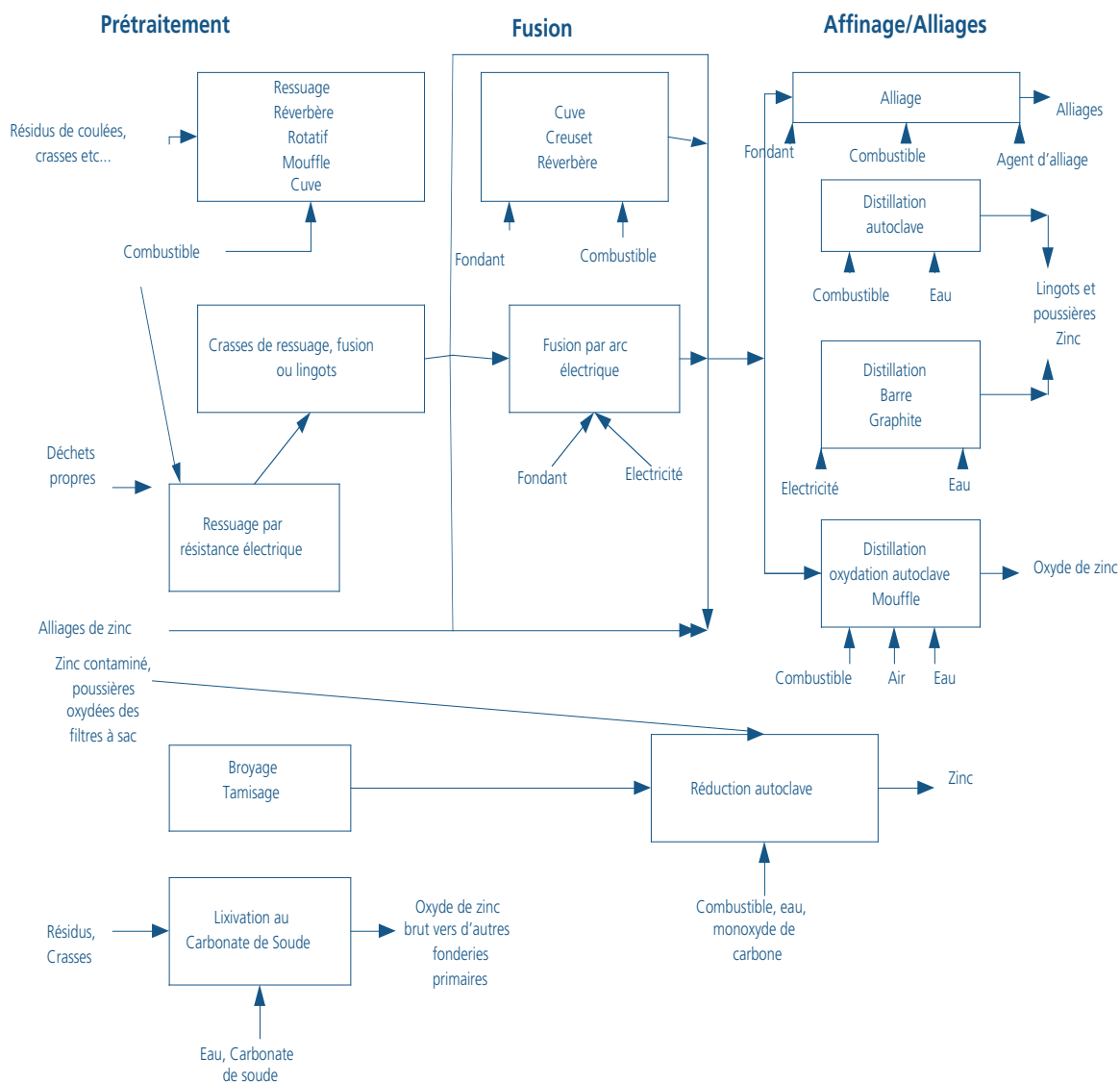
Les procédés de fusion mettent en œuvre des fours à cuve, à creuset, à réverbère, à réduction et aussi des fours à induction électrique. Les impuretés sont séparées du zinc liquide par des fondants. Une agitation du bain permet aux fondants et aux impuretés de flotter à la surface comme crasses, qui peuvent être retirées par raclage. Le zinc qui reste est alors coulé dans des moules ou transformés à l'état liquide pour être encore affiné. Les alliages peuvent être réalisés à partir de déchets prétraités au cours du ressuage et de la fusion.

L'affinage est l'opération qui consiste à retirer les dernières impuretés contenues dans les déchets d'alliages de zinc propre, et dans du zinc qui se vaporise pendant la phase de fusion dans les fours à alambique. La distillation consiste à vaporiser le zinc à des températures de 982°C à 1249°C dans des fours à moufles ou à alambic, puis à le condenser sous forme de poudre de zinc ou le métal liquide. On peut le récupérer sous diverses formes; cela dépend de la température, du temps nécessaire pour la récupération, de l'absence ou de la présence d'oxygène, et des équipements employés pendant la condensation des vapeurs de zinc. La fusion en cuve est un simple chauffage indirect au cours de laquelle l'alliage final est coulé sous forme de plaques, dont la qualité dépendra des déchets mis en œuvre et traités. Dans ce cas, il n'y a pas de distillation.

Les produits finaux, issus de l'affinage sont des lingots de zinc, des poussières, des alliages et des oxydes de zinc. La figure 1 montre le cycle de production sous forme de diagramme.

■ Figure 1. La fusion du zinc secondaire

Source: EPA 1981



Les activités de recyclage au niveau artisanal, et au niveau de petites entreprises peuvent jouer un rôle international important, en particulier dans des pays en développement ou avec des économies en transition. Ces activités peuvent contribuer de manière significative à la pollution et avoir des impacts négatifs sur la santé. Par exemple, les fonderies artisanales de zinc sont une source importante d'émissions de mercure dans l'atmosphère. Les techniques pour fondre le zinc et le mercure sont très simples. Les minerais sont chauffés dans un four pendant quelques heures, ce qui donne du zinc métal ainsi que du mercure liquide. Dans beaucoup de cas, on n'utilise aucun dispositif de contrôle de la pollution pendant le processus de fusion. D'autres métaux qui sont connus pour être fabriqués par des méthodes artisanales, et par de petites entreprises de récupération, incluent l'antimoine, le fer, le plomb, le manganèse, l'étain, le tungstène, l'or et l'argent, le cuivre et l'aluminium.

Ces dernières ne sont pas considérées comme les meilleures techniques disponibles ni comme les meilleures pratiques environnementales. Toutefois, et comme minimum, on devrait utiliser une ventilation et une manipulation des matériaux appropriées.

2. Sources de produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm

La formation des produits chimiques inscrits à l'Annexe C (les PCDD/PCDF étant les plus étudiés) peut être le résultat de la présence de carbone et de chlore dans les zones du procédé où les températures sont dans la fourchette de 250 à 450°C. A noter que l'emploi des poussières venant des fourneaux à arc électrique et des procédés au cuivre, peuvent aussi apporter de fortes contaminations dans le procédé.

2.1 Information générale sur les émissions venant des fonderies de zinc secondaire

Les émissions dans l'air peuvent provenir des cheminées, ou d'émissions fugitives, selon la vétusté de l'usine ou la technologie. Les principaux contaminants sont le dioxyde de soufre (SO₂), d'autres composés sulfureux et des vapeurs acides, des oxydes d'azote (NO_x), des métaux (surtout de zinc) et leurs composés, des poussières et des PCDD/PCDF. Le SO₂ est collecté et transformé en acide sulfurique dans les usines produisant des acides, lorsque l'on emploie des matières à forte teneur en soufre. Les émissions fugitives de SO₂ peuvent être contrôlées à l'aide de bonnes aspirations et par l'emploi de fours fermés. Les NO_x peuvent être diminués en utilisant des brûleurs à faible NO_x ou à oxy-fuel. Les particules fines sont captées par des méthodes à haut rendement comme les filtres en tissu, et ensuite renvoyées dans le cycle de production (European Commission 2001, p.359-368).

2.2 Emissions de PCDD/PCDF dans l'air

Les PCDD/PCDF peuvent être formés au cours de la fusion des métaux en raison d'apport de matière contaminée (par exemple, poussières en provenance de four à arc électrique), en raison de combustion incomplète, de synthèse *de novo*, de matières organiques insuffisamment brûlées et d'autres composés chlorés présents dans la zone aval du cycle où les gaz se refroidissent.

«L'utilisation de déchets impropres, comme les fractions non métalliques venant des broyeurs, va entraîner la production de polluants, dont les PCDD/PCDF. Des températures relativement basses sont pratiquées pour récupérer le plomb et le zinc (340°C et 440°C). La fusion du zinc peut se faire avec l'addition de fondants, tels que les chlorures de zinc et de magnésium.» (UNEP 2003 p.78).

Les faibles températures pratiquées dans les fonderies de zinc se trouvent directement dans la fourchette de 250 à 500°C, dans la zone où les PCDD/PCDF peuvent se former. L'addition de fondants à base de chlorures fournit une source de chlore. La formation est possible dans la zone de combustion en raison de la combustion incomplète des composés organiques, et les zones de traitement et de refroidissement des gaz, par une synthèse *de novo*. Les PCDD/PCDF s'adsorbent facilement sur les particules comme des poussières, sur les gâteaux de filtration et sur les résidus d'épurateur, et peuvent être rejetés dans l'environnement par des émissions dans l'air, les eaux usées et l'élimination des déchets.

«Bien que les PCDD/PCDF soient détruits à haute température (supérieure à 850°C) en présence d'oxygène, le processus de synthèse *de novo* est encore possible, puisque les gaz sont refroidis dans la «fenêtre de reformation». Celle-ci peut exister dans les systèmes de réduction, et dans les zones plus froides des fours, c'est-à-dire dans la zone de chargement. Il faut veiller au concept des systèmes de refroidissement afin de diminuer le temps de résidence dans cette fenêtre, ceci pour éviter une synthèse *de novo*» (European Commission 2001, p 133).

Un rapport établi par le gouvernement du Japon a étudié les techniques de réduction des dioxines et leurs effets dans les usines de zinc secondaire au Japon. Diverses techniques d'évacuation des gaz ont été utilisées, en ligne avec les directives sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales, dans cinq usines existantes. Les émissions de dioxines variaient selon le type de four utilisé. Les concentrations de dioxines mesurées variaient de 0,91 à 40ng I-TEQ/Nm³ avant la mise en place des techniques de contrôle de gaz, et de 0,32 à 11,7ng I-TEQ/Nm³ après leur mise en opération. Après la mise en place de filtres à manche de dernière technologie, à double étape, associés à un système d'injection de charbon actif, aussi à double étape, dans le four de réduction à un site, la concentration en dioxine a été réduite de 3,30ng I-TEQ/Nm³ à 0,49ng I-TEQ/Nm³ (Gouvernement of Japan 2005).

2.3 Rejets vers d'autres milieux

Les eaux usées proviennent des effluents du procédé des eaux de refroidissement et d'autres ruissellements et sont traitées en aval par les mêmes techniques que celles employées pour les eaux usées. Les résidus des procédés sont recyclés et traités en aval pour récupérer les métaux contenus, ou éliminés en toute sécurité. L'utilisation d'épurateurs à voie humide peut mener à des effluents contaminés, et aussi à des résidus nécessitant des traitements; l'extraction de particules sèches donne des résidus solides qui peuvent être contaminés. Ces derniers exigent une gestion adaptée pour éviter tout rejet.

3. Procédés recommandés

Des variations de la matière première, et la qualité du produit recherché, influent sur la configuration et la conception du procédé. Ces procédés devraient comprendre de bons systèmes pour le contrôle du procédé, le captage des gaz et la réduction de la pollution. Les procédés considérés comme les meilleures techniques disponibles comprennent: la séparation physique, la fusion et d'autres techniques de traitement à haute température, suivies par l'extraction des chlorures (European Commission 2001, p.396).

Il n'existe pas d'autres informations sur des procédés alternatifs pour les fonderies de zinc secondaire.

4. Mesures primaires et secondaires

Les mesures primaires et secondaires relatives à la réduction et à l'élimination des PCDD/PCDF sont discutées ci-dessous.

4.1 Mesures primaires

Les mesures primaires sont des techniques de prévention de la pollution pour réduire ou éviter la génération et le rejet de polluants organiques persistants. Les mesures possibles comprennent:

4.1.1 Tri préalable des matières de charge

Les charges contaminées telles que les poussières provenant des fours à arc électrique, et du traitement du cuivre, sont susceptibles de contenir des PCDD/PCDF et autres produits listés à Annexe C. Il faudrait veiller à ce que tout autre apport dans le procédé soit effectivement détruit ou capté et éliminé.

Les impuretés présentes dans les charges comme les huiles, les peintures, les plastiques, qui se trouvent dans les ferrailles de zinc, devront être extraites de matières chargées dans le four pour réduire la formation de PCDD/PCDF par une combustion incomplète des composés organiques, ou par une synthèse *de novo*. Cependant, la majorité de la matière organique chargée viendra des combustibles utilisés, dans beaucoup de cas. Les méthodes de stockage, de manutention et de prétraitement sont influencées par les dimensions des matières, les contaminants et la teneur en métal.

Le concassage et le broyage, en association avec des techniques de séparation pneumatique ou par densité, peuvent être utilisés pour séparer les plastiques. Des traitements thermiques, utilisés pour retirer les revêtements de surface et les huiles, devraient être suivis d'une post combustion pour détruire toutes les matières organiques se trouvant dans les gaz produits (European Commission 2001, p.232).

4.1.2 Contrôle efficace des procédés

Des systèmes de contrôle de procédés devraient être utilisés pour assurer la stabilité du procédé et un fonctionnement à des niveaux de paramètres qui contribueront à la diminution de la génération des PCDD/PCDF, comme le maintien de la température du four au dessus de 850°C pour détruire les PCDD/PCDF. De manière idéale, les émissions de PCDD/PCDF seront suivies en continu afin d'en réduire les rejets. Il a été démontré qu'un échantillonnage en continu des PCDD/PCDF peut être efficace, dans quelques secteurs (par ex. les incinérateurs de déchets), mais la recherche continue dans ce domaine. En l'absence de suivi en continu des PCDD/PCDF, d'autres paramètres comme la température, le temps de résidence, les composants des gaz, et les clapets de contrôle des fumées devront être suivis en continu, et maintenus, pour assurer des niveaux opératoires optimaux, afin de réduire les PCDD/PCDF.

4.2 Mesures secondaires

Ces mesures sont celles qui contrôlent la pollution, pour contenir et pour prévenir les émissions. Ces méthodes n'empêchent pas la formation des contaminants. Une trempe

peut être employée pour réduire ou pratiquement éliminer la formation dans la zone de refroidissement, et représente une mesure primaire, bien qu'elle puisse être appliquée en combinaison avec des mesures secondaires.

4.2.1 Captage des gaz et fumées

Un captage efficace des gaz et fumées devrait être effectué à toutes les étapes de la production afin d'éliminer les sources d'émissions des PCDD/PCDF.

«Les systèmes qui captent les fumées peuvent être des fours étanches, et être conçus pour maintenir un vide suffisant qui empêche les fuites et les émissions fugitives. On peut utiliser des systèmes qui enferment le four ou qui le recouvrent avec des hottes. Des exemples de systèmes utilisés sont: addition des charges par les hottes, additions par des tuyères ou lances, et utilisation de valves rotatives robustes à l'entrée des fours. Un système (efficace) de captage de fumées capable de les piéger à la source, permettra une consommation plus faible d'énergie. Les meilleures techniques disponibles pour les systèmes de traitement des gaz et des fumées sont celles qui utilisent un refroidissement et qui récupèrent la chaleur, si possible en amont des filtres en tissu.»

(European Commission 2001, p.397).

4.2.2 Extraction à haute efficacité de la poussière

Les poussières et les composés métalliques générés par les fonderies devront être extraits parce que ces particules ont une grande surface spécifique sur laquelle les PCDD/PCDF s'adsorbent facilement. L'extraction de ces poussières contribuera à la réduction des émissions de PCDD/PCDF. Les techniques à considérer sont les filtres en tissu, les épurateurs par voie humide ou à sec, et les filtres en céramique. Les particules recueillies sont généralement recyclées dans le four.

Les filtres en tissu utilisant des matériaux à haut rendement sont l'option la plus efficace. Des innovations liées à cette technique comprennent des systèmes de détection de perçage des sacs, des méthodes de nettoyage en ligne, et des revêtements catalytiques pour assurer la destruction des PCDD/PCDF. (European Commission 2001, p.139-140).

4.2.3 Post brûleurs et trempe

Les post brûleurs (post combustion) devraient être utilisés à une température minimale de 950°C pour assurer une combustion complète des composés organiques (Hübner *et al.* 2000). Cette étape doit être suivie par une trempe rapide des gaz à une température inférieure à 250°C. Une injection d'oxygène dans la zone supérieure du four permettra une combustion complète (European Commission 2001, p.189).

On a observé que les PCDD/PCDF sont formés dans une fourchette de température de 250°C à 500°C. Ils sont détruits au-dessus de 850°C, en présence d'oxygène. Une synthèse *de novo* est cependant encore possible car les gaz sont refroidis en passant par la fenêtre de reformation qui est présente dans les systèmes de réduction de pollution, et dans les zones plus froides du four. Il est conseillé de prévoir des systèmes de

refroidissement pour minimiser le temps de reformation (European Commission 2001, p.133).

4.2.4 Adsorption sur charbon actif

Un traitement au charbon actif devrait être envisagé pour enlever les PCDD/PCDF des gaz émis par les fonderies. Le charbon actif possède une grande surface spécifique sur laquelle les PCDD/PCDF peuvent être adsorbés. Les gaz émis peuvent être traités avec du charbon actif dans les réacteurs à lit fixe ou mobile, ou par injection de particules de charbon dans le flux des gaz suivi d'un passage sur filtres à poussières haute efficacité, tels que des filtres en tissu.

5. Recherche récente

L'oxydation catalytique est une technique émergente utilisée dans les incinérateurs de déchets pour éviter les émissions de PCDD/PCDF. Ce procédé devrait être considéré dans les fonderies de zinc secondaire (de deuxième fusion) car il a prouvé son efficacité par la destruction des PCDD/PCDF dans des incinérateurs de déchets. L'oxydation catalytique est susceptible, selon le choix du catalyseur, de subir un empoisonnement à cause de traces de métaux ou d'autres contaminants gazeux. Il faudrait procéder à une validation avant d'utiliser ce procédé.

L'oxydation catalytique transforme les composés organiques en eau, en dioxyde de carbone (CO₂) et en acide chlorhydrique, en utilisant un métal précieux comme catalyseur, afin d'accélérer le taux de réaction entre 370 et 450°C. En comparaison, l'incinération a lieu à 980°C. Il a été démontré que l'oxydation catalytique peut détruire les PCDD/PCDF avec des temps de résidence plus courts, avec une faible consommation d'énergie, et avec une efficacité de 99%, et cette technique devrait être envisagée. Les gaz devront être traités pour extraire les particules avant le passage à l'étape de l'oxydation catalytique, pour une efficacité maximale. Cette méthode est efficace pour la phase vapeur des contaminants. L'acide chlorhydrique qui en résulte est traité dans un épurateur, tandis que l'eau et le CO₂ sont relâchés dans l'air après refroidissement (Parvesse 2001).

6. Résumé des mesures

Les Tableaux 1 et 2 présentent un résumé des mesures discutées dans les sections précédentes.

■ **Tableau 1. Mesures pour les procédés recommandés relatives aux fonderies de zinc secondaire**

Mesure	Description	Considérations	Commentaires
Procédés recommandés	Divers procédés de fusion devraient être considérés pour les nouvelles fonderies	Les procédés à considérer comprennent: <ul style="list-style-type: none">• Séparation physique, fusion et autres traitements à haute température, suivis par l'enlèvement des chlorures• Utilisation de fours Waelz, et aussi fours à cyclones ou des convertisseurs, pour élever les températures permettant de volatiliser les métaux, et de former ensuite des oxydes qui seront récupérés des gaz dans une étape de filtration	Ces procédés devraient être appliqués en combinaison avec un bon contrôle des procédés, un captage des gaz et des systèmes de réduction de la pollution. Les fours Waelz peuvent être une source majeure de PCDD/PCDF (et autres produits de l'Annexe C); un bon contrôle de leur utilisation et fonctionnement est la clef pour obtenir une réduction globale des rejets

■ **Tableau 2. Résumé des mesures primaires et secondaires pour les fonderies de zinc secondaire**

Mesure	Description	Considérations	Commentaires
Mesures primaires			
Tri préliminaire des matières de charge	<p>Les poussières des fours à arc électrique, et des procédés pour le cuivre, employées comme matière d'apport, peuvent contenir de hauts niveaux de PCDD/PCDF (et autres produits listés en Annexe C).</p> <p>Les huiles et plastiques dans les déchets de zinc devront être séparés des matières introduites dans le four pour réduire la formation de PCDD/PCDF, lors de la combustion incomplète ou en raison de synthèses <i>de novo</i></p>	<p>Procédés à considérer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concassage et broyage en conjonction avec des techniques séparatives par densité ou pneumatiques pour retirer les plastiques • Elimination de l'huile par des traitements de décapage et de déshuilage 	<p>Les procédés thermiques de déshuilage et de décapage devraient être suivis d'une post-combustion pour détruire toute matière organique dans les gaz produits</p>
Contrôle efficace des procédés	<p>Des systèmes de contrôle de procédé devront être utilisés pour maintenir la stabilité de fonctionnement, et des valeurs de paramètres qui contribueront à la diminution de la formation des PCDD/PCDF</p>	<p>Les émissions de PCDD/PCDF peuvent être réduites en contrôlant d'autres variables telles que la température, le temps de résidence, les composants des gaz, le contrôle du captage des fumées, après avoir établi des conditions opératoires optimales pour la réduction des PCDD/PCDF</p>	<p>L'échantillonnage en continu des émissions de PCDD/PCDF a été validé dans quelques secteurs (par ex. incinérateurs de déchets), mais la recherche est encore en cours dans ce domaine</p>

Mesure	Description	Considérations	Commentaires
Mesures secondaires			
Captage des fumées et des gaz	Le captage efficace des fumées et des gaz devrait être mis en place à toutes les étapes de la fonderie pour capter les émissions de PCDD/PCDF	Procédés à considérer: <ul style="list-style-type: none"> • Fours fermés pour maintenir un vide empêchant les pertes et les émissions fugitives • Utilisation de hottes • Addition de matériaux par les hottes, addition par tuyères ou lances, utilisation de vannes rotatives robustes sur les systèmes d'introduction des matières 	Les meilleures techniques disponibles pour les systèmes de traitement des gaz et des fumées sont celles utilisant un refroidissement et une récupération de chaleur, si possible avant un filtre en tissu, sauf dans le cas de la production d'acide sulfurique
Captage haute efficacité des poussières	Les poussières et composés métalliques devront être enlevés car ces matières ont une grande surface spécifique sur laquelle les PCDD/PCDF s'adsorbent facilement. Retirer ces poussières contribuera à la réduction des PCDD/PCDF	Procédés à prendre en compte: <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de filtres en tissu, d'épurateurs secs ou humide et de filtres en céramique 	Les filtres en tissu utilisant des matériaux à haute performance sont l'option la plus efficace. Les particules très fines recueillies devront être recyclées dans le four
Post-brûleur et trempé	Les post-brûleurs devront être utilisés à des températures >950°C pour assurer la combustion complète des composés organiques, suivi d'un refroidissement rapide des gaz, à une température inférieure à 250°C	Des considérations comprennent: <ul style="list-style-type: none"> • Formation des PCDD/PCDF à 250-500°C, destruction à >850°C avec apport d'O₂ dans la zone supérieure du four pour une combustion totale • Nécessité d'une conception adaptée des systèmes de refroidissement pour diminuer le temps de reformation 	Une synthèse <i>de novo</i> est encore possible lorsque les gaz sont refroidis dans la fenêtre de reformation

Mesure	Description	Considérations	Commentaires
Adsorption sur charbon actif	L'adsorption sur charbon actif devrait être considérée, car ce matériau est un milieu idéal pour adsorber les PCDD/PCDF en raison de sa grande surface spécifique	Procédés à prendre en compte: <ul style="list-style-type: none"> Traitement avec charbon actif dans réacteurs à lit fixe ou mobile Injection de fines particules de charbon dans le flux des gaz, suivie de leur enlèvement par des filtres à poussières 	Des mélanges de charbon/chaux peuvent aussi être utilisés

Recherche récente

Oxydation catalytique	L'oxydation catalytique est une technologie récente qui devrait être considérée en raison de sa haute efficacité et d'une plus faible consommation d'énergie. L'oxydation catalytique transforme les composés organiques en eau, en CO ₂ et en acide chlorhydrique, en utilisant un catalyseur en métal précieux	Des considérations comprennent: <ul style="list-style-type: none"> Efficacité du procédé concernant la phase vapeur des contaminants Traitement de l'acide chlorhydrique par laveurs pendant que l'eau et le CO₂ sont rejetés dans l'air après refroidissement 	Il a été démontré que l'oxydation catalytique détruit les PCDD/PCDF avec des temps de résidence plus courts, une plus faible consommation d'énergie et une efficacité à 99%. Les gaz émis devraient être dépoussiérés avant l'oxydation catalytique pour une efficacité optimale
-----------------------	---	---	--

7. Niveaux de performance atteignable avec les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales

Les niveaux de performance associés aux meilleures techniques et aux meilleures pratiques environnementales pour les émissions de PCDD/PCDF dans l'air, à partir des fonderies de zinc secondaire sont <0,5ng I-TEQ/Nm³ (aux concentrations d'oxygène opérationnelle).

Références

EPA (United States Environmental Protection Agency). 1981. *Secondary Zinc Processing*. Background Report AP-42, Section 12.14. epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s14.pdf.

European Commission. 2001. *Reference Document on Best Available Techniques in the Non-Ferrous Metals Industries*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es.

Government of Japan. 2005. *Report on Dioxin Reduction Technologies and their Effects in Secondary Zinc Production Facilities of Japan*. Government of Japan, Ministry of Economy, Trade and Industry.

Hübner C., Boos R., Bohlmann J., Burtscher K. and Wiesenberger H. 2000. *State-of-the-Art Measures for Dioxin Reduction in Austria*. Vienna. www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/M116.pdf.

Parvesse T. 2001. «Controlling Emissions from Halogenated Solvents.» *Chemical Processing* 64(4):48–51.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2003. *Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases*. UNEP, Geneva. www.pops.int/documents/guidance/Toolkit_2003.pdf.

Autres sources

Gunson A.J. and Jian Y. 2001. *Artisanal Mining in The People's Republic of China*. Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD), International Institute for Environment and Development (IIED), September 2001.

UNEP (United Nations Environment Programme). UNEP News Centre. www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=284&ArticleID=3204&l=en, as read on 20 January 2006.

Xinbin F., Guangle Q., Guanghui L., Ping L. and Shaofeng W. 2005. «Mercury Emissions from Artisanal Zinc and Mercury Smelting in Guizhou, PR China.» *Goldschmidt Conference Abstracts 2005: The Geochemistry of Mercury* p. A705.

Xinbin F., Xianwu B., Guangle Q., Guanghui L. and Shunlin T. *Mercury Pollution in Guizhou, China: A Status Report*. pbc.eastwestcenter.org/abstracts2005/abstract2005fengxinbin.htm, as read on 29 December 2005.



<http://www.pops.int>

UNEP/SSC/BATBEP/2008/5

Section V.IV Section V.A Section V.B Section V.C Section V.D Section V.A Section V.B Section V.C Section V.D Section V.I.A Section V.I.B Section V.I.C Section V.I.D Section V.I.E Section V.I.F Section V.I.G Section V.I.H Section V.I.I Section V.I.J Section V.I.K Section V.LL Section V.LM

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

**La combustion à ciel ouvert de déchets,
y compris dans les décharges**



Le contenu de cette publication peut être reproduit à des fins éducatives ou sans but lucratif, dans son intégralité ou en partie, quelque soit le format, sans autre permission spéciale, pourvu que la source soit parfaitement identifiée. Le Secrétariat de la Convention de Stockholm et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) souhaiteraient recevoir une copie de tout ouvrage utilisant cette publication comme référence. Cette publication ne peut faire l'objet de revente ou toute autre activité commerciale sans l'accord préalable et par écrit du PNUE.

Publiée par le Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en octobre 2008. Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser au:

Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Genève, Suisse
ssc@pops.int - www.pops.int

Mise en page et impression par: SRO-Kundig - Genève

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

T A B L E D E S M A T I È R E S

SECTION I: INTRODUCTION

- I.A** OBJECTIF
- I.B** STRUCTURE DU DOCUMENT ET UTILISATION DES DIRECTIVES ET CONSEILS
- I.C** PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C: DÉFINITIONS, RISQUES, TOXICITÉ
- I.D** ARTICLE 5 ET L'ANNEXE C DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- I.E** LIEN AVEC LA CONVENTION DE BÂLE
- I.F** LIEN AVEC D'AUTRES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

SECTION II: CONSIDÉRATIONS D'ALTERNATIVES DANS L'APPLICATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

- II.A** CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES DANS LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- II.B** LA CONVENTION DE STOCKHOLM ET LES SOURCES NOUVELLES
- II.C** UNE APPROCHE À LA CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES
- II.D** AUTRES CONSIDÉRATIONS DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM

SECTION III: MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES: DIRECTIVES, PRINCIPES ET CONSIDÉRATIONS CROISÉES

- III.A** DIRECTIVES
- III.B** PRINCIPES ET APPROCHES GÉNÉRAUX
- III.C** CONSIDÉRATIONS CROISÉES:
 - (i) PRODUITS CHIMIQUES DE L'ANNEXE C: MÉCANISMES DE FORMATION
 - (ii) CONSIDÉRATIONS SUR LA GESTION DES DÉCHETS
 - (iii) EFFETS BÉNÉFIQUES ADDITIONNELS DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LES PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C
 - (iv) GESTION DES GAZ DE PROCÉDÉ ET D'AUTRES RÉSIDUS
 - (v) FORMATION DES DÉCIDEURS ET DU PERSONNEL TECHNIQUE
 - (vi) MESURES, SUIVI ET PRÉSENTATIONS DES RAPPORTS

SECTION IV: COMPILATION DES RÉSUMÉS DES CATÉGORIES DES SOURCES INCLUSES DANS LES SECTIONS V ET VI

RESUMES DE LA SECTION V: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

RESUMES DE LA SECTION VI: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

SECTION V: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DE SOURCES: CATEGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

- V.A** LES INCINÉRATEURS DE DÉCHETS
- (i) DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, DÉCHETS DANGEREUX ET DE BOUES D'ÉPURATION
 - (ii) DÉCHET MÉDICAUX
- V.B** LE BRULAGE DE DÉCHETS DANGEREUX DANS LES FOURS A CIMENT
- V.C** LA PRODUCTION DE PÂTE À PAPIER UTILISANT LE CHLORE ÉLÉMENTAIRE, OU DES SUBSTANCES CHIMIQUES GÉNÉRANT DU CHLORE ÉLÉMENTAIRE
- V.D** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
- (i) PRODUCTION DU CUIVRE SECONDAIRE
 - (ii) USINES DE FRITTAGE DANS L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER
 - (iii) PRODUCTION D'ALUMINIUM SECONDAIRE
 - (iv) PRODUCTION DU ZINC SECONDAIRE

SECTION VI: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DES SOURCES: CATÉGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

- VI.A** LA COMBUSTION À CIEL OUVERT DE DÉCHETS, Y COMPRIS DANS LES DÉCHARGES
- VI.B** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE AUTRES QUE CEUX MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE C PARTIE II
- (i) PRODUCTION DU PLOMB SECONDAIRE
 - (ii) PRODUCTION D'ALUMINIUM PRIMAIRE
 - (iii) PRODUCTION DE MAGNESIUM
 - (iv) PRODUCTION D'ACIER SECONDAIRE
 - (v) PREMIÈRE FUSION DES MÉTAUX DE BASE

VI.C	LES SOURCES DE COMBUSTION RÉSIDENTIELLES
VI.D	LA COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES DANS DES CHAUDIÈRES DE CENTRALES ET LES CHAUDIÈRES INDUSTRIELLES
VI.E	LES INSTALLATIONS DE BRÛLAGE DE BOIS ET DE COMBUSTIBLES ISSUS DE LA BIOMASSE
VI.F	LES PROCÉDÉS SPÉCIFIQUES DE PRODUCTION DE SUBSTANCES CHIMIQUES ENTRAÎNANT DES REJETS DE SUBSTANCES INSCRITES À L'ANNEXE C
VI.G	LES FOURS CRÉMATOIRES
VI.H	LES VÉHICULES À MOTEUR, NOTAMMENT CEUX UTILISANT DE L'ESSENCE AU PLOMB
VI.I	LA DESTRUCTION DE CARCASSES D'ANIMAUX
VI.J	LA TEINTURE DE TEXTILES OU DU CUIR (AU CHLORANILE) ET LA FINITION (EXTRACTION ALCALINE)
VI.K	LES INSTALLATIONS DE BROUAGE DES ÉPAVES DE VÉHICULES
VI.L	LE CHAUFFAGE LENT DE CÂBLES EN CUIVRE
VI.M	LES RAFFINERIES D'HUILES USÉES

Section VI.A

Directives/conseils par catégorie des sources:
Catégories des sources dans la Partie III de l'Annexe C

**Partie III Catégorie de source (a):
La combustion à ciel ouvert de déchets, y compris dans
les décharges**

T A B L E D E S M A T I È R E S

VI.A La combustion à ciel ouvert de déchets, y compris dans les décharges	9
1. Conseils généraux	9
1.1 Dangers de la combustion à ciel ouvert pour la santé de l'homme.....	9
1.2 La situation de la combustion à l'air libre	10
1.3 Base scientifique et considérations générales	12
2. Brûlage intentionnel de la biomasse	15
2.1 Résidus agricoles/récoltes et débris de défrichement	15
3. La combustion à ciel ouvert de déchets mixtes de produits ménagers	17
3.1 Déchets ménagers, feux de décharges/dépotoirs, déchets industriels non dangereux.....	17
3.2 Construction, démolition et débris d'après désastre	22
4. Brûlage à l'air libre de matériaux spécifiques et divers	24
4.1 Plastiques agricoles	24
4.2 Les pneus	25
4.3 Fuites d'hydrocarbures et torches.....	27
Références	27

Figures

Figure 1. Animaux broutant près d'un brûlage à l'air libre.....	12
Figure 2. Mode typique d'élimination de déchets mixtes par brûlage à l'air libre.....	14
Figure 3. Tri centralisé de déchets pour réutilisation et recyclage	18

■ Résumé

La combustion à ciel ouvert est un procédé qui n'est pas acceptable sur le plan de l'environnement, et qui génère des substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm ainsi que d'autres polluants résultant d'une combustion incomplète. En conformité avec l'Annexe C, Partie V, section A, sous-paragraphe (f) de la Convention de Stockholm, la meilleure directive est de réduire la quantité de matériaux que l'on élimine par ce moyen, avec le but final de ne plus l'utiliser du tout.

D'autres techniques qui pourraient avoir une influence sur l'amélioration, en relation avec les matériaux brûlés sont: l'exclusion de matériaux qui ne brûlent pas, tels que le verre et les métaux en vrac, les déchets mouillés et les matériaux de faible combustibilité; éviter les déchets contenant des teneurs élevées en chlore, que ce soit des chlorures inorganiques comme le sel, ou des organo-chlorés comme le PVC; et éviter les matériaux contenant des métaux catalytiques comme le cuivre, le fer, le chrome et l'aluminium, même en faible quantité. Les matériaux à brûler devraient être homogènes ou bien mélangés, et avoir une densité faible, tels que les matériaux non-compactés.

Concernant le procédé de combustion, les buts devraient comprendre: d'assurer un débit d'air suffisant, de maintenir une vitesse de brûlage ou de perte de poids constante, de minimiser le brûlage lent, peut-être avec une extinction directe; et de limiter le brûlage à de petits feux, bien retournés et bien ventilés plutôt que de faire des feux de décharges ou en conteneurs mal ventilés.

1. Conseils généraux

Le brûlage à ciel ouvert couvre une variété de pratiques de brûlage de déchets non contrôlées, comprenant les feux de décharges, les feux en tranchées, les feux sur les sols et les feux dans des fûts. Pour des personnes dans de nombreuses parties du monde, le brûlage à l'air libre est le moyen de réduire le volume et d'éliminer les matériaux combustibles le moins cher, le plus facile et le plus hygiénique. C'est d'autant plus vrai pour les gens qui n'ont pas accès à des installations de traitement de déchet organisées, et qui sont libres d'utiliser leurs propres moyens pour éliminer ces matériaux.

1.1 Dangers de la combustion à ciel ouvert pour la santé de l'homme

Des recherches en cours indiquent que la combustion à ciel ouvert représente un danger pour la santé de l'homme et de l'environnement plus important que ce qu'on pensait jusqu'à présent. Les conditions de faibles températures de combustion et de combustion lente, qui sont typiques des feux à l'air libre, peuvent favoriser la formation de plusieurs produits chimiques qui sont toxiques et potentiellement dangereux, y compris certains inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm. De tels produits peuvent être formés pendant une combustion à l'air libre, indépendamment de la composition du

matériau de départ. Les composés produits par ces sources de combustion à l'air libre peuvent se propager sur de longues distances et se déposer sur les sols, les plantes et dans les eaux.

Les cendres résiduelles dans les restes de feux contiennent également des polluants qui peuvent se répandre dans les sols et l'eau. Ces produits sont consommés par des animaux et des poissons et s'accumulent dans les tissus, tandis que les plantes les adsorbent à travers les surfaces des feuilles. Lorsque ces aliments contaminés sont ingérés, les polluants sont transférés vers l'homme. En plus, des fumées et matières particulaires provenant des feux peuvent être la cause de problèmes respiratoires, surtout chez les enfants, les personnes âgées et les personnes avec des problèmes d'asthme ou d'autres maladies respiratoires, ainsi que celles avec des maladies chroniques du cœur ou des poumons.

1.2 La situation de la combustion à l'air libre

Bien que ce document fournisse des directives pour les pratiques de la combustion à l'air libre, il reconnaît néanmoins les dommages environnementaux qui peuvent résulter de ce type de brûlage, et ne devrait pas être considéré comme une autorisation à continuer cette pratique, qui devrait être minimisée et arrêtée aussi rapidement que possible, et toujours lorsque cela est possible. La combustion à l'air libre pourrait encore être un dernier recours, lorsqu'aucune autre méthode alternative d'élimination ou de récupération existe, à cause d'une infrastructure insuffisante; là où une élimination sanitaire est nécessaire pour contrôler les maladies ou les pestes; ou dans le cas de désastres ou d'autres états d'urgence (Great Lakes Binational Toxics Strategy 2004). Cependant, il ne faudrait jamais brûler des déchets ménagers dans des dispositifs de combustion résidentiels comme des fours, des feux de cheminée ou des poêles (voir la section VI.C des présentes directives).

La combustion à ciel ouvert, y compris le brûlage de décharges pour réduire leur volume, est donnée comme une source non-intentionnelle de polluants organiques persistants dans l'Annexe C, Partie III de la Convention de Stockholm. De manière plus précise, le sous-paragraphe (f) de l'Annexe C, Partie V, section A parle de l'espoir de «...mettre fin à la combustion à ciel ouvert, ou sous d'autres formes incontrôlées, y compris dans les décharges».

Bien que la Convention de Stockholm traite des polluants organiques persistants tels que les dibenzo-*p*-dioxines polychlorées (PCDD), les dibenzofuranes polychlorés (PCDF), les polychlorobiphényles (PCB) et l'hexachlorobenzène (HCB) en tant que produits de combustion incomplète, la combustion à l'air libre est responsable de la formation de sous-produits de combustion toxiques bien pires que les produits chimiques mentionnés. Ces autres sous-produits comprennent des hydrocarbures polycycliques aromatiques, des particules de matière, du benzène et du monoxyde de carbone. Indépendamment de la chimie spécifique, il y a toujours des fumées et des odeurs désagréables qui accompagnent le brûlage à l'air libre; au mieux, ils représentent une nuisance, et au pire un risque pour la santé. L'élimination des polluants organiques persistants inscrits dans la

Convention de Stockholm n'améliorerait pas suffisamment les émissions du brûlage à l'air libre pour faire de cette pratique un moyen d'évacuation des déchets privilégié du point de vue environnemental. Il est impératif que l'application de la Convention de Stockholm se concentre sur la constitution d'alternatives au brûlage à l'air libre plutôt que d'essayer simplement de perfectionner une mauvaise pratique. Faire état de ces provisions ici ne devrait pas être interprété comme une acceptation ou une justification de cette pratique.

Les efforts faits pour réduire le brûlage à l'air libre doivent se focaliser sur l'appui du gouvernement, du secteur privé et de la société civile, pour soutenir les options alternatives de fin de vie et de gestion des déchets. Les organismes gouvernementaux responsables de la politique de santé publique et de l'éducation, devraient s'impliquer autant que ceux responsables de la politique des déchets. Les Directives Techniques de la Convention de Bâle donnent des conseils de base au sujet des alternatives au brûlage à l'air libre et de leur mise en œuvre (Basel Convention Secretariat 1994).

Les pays devraient travailler avec assiduité pour établir et appliquer des pratiques saines, y compris la réduction de l'utilisation des ressources, la réutilisation, le recyclage, le compostage, l'enfouissement sanitaire moderne et l'incinération, en employant les meilleures techniques disponibles. Des efforts devraient être faits pour la mise en œuvre de la Convention et pour l'utilisation des mécanismes financiers de la Convention pour encourager la constitution de systèmes modèles de gestion de déchets, comme alternatives au brûlage à l'air libre. De plus, on devrait envisager des programmes et des outils d'éducation, dans le cadre d'un effort général de minimisation, visant à éduquer des audiences ciblées (par ex., le public, les gestionnaires de déchets) sur les risques pour la santé de l'homme et de l'environnement que peuvent causer le brûlage à l'air libre (Canadian Centre for Pollution Prevention 2006; EPA 2006).

Plusieurs pays ont mis au point des réglementations et interdictions au sujet de diverses pratiques de brûlage à ciel ouvert (Government of New Zealand 2006). Certains de ces textes contiennent des directives spécifiques au sujet des catégories mentionnées dans cette section, y compris les pneus et les huiles usagées. La mise en application de ces provisions suppose que le public ait accès à des options acceptables pour la collecte et l'élimination des déchets.

Dans cette partie des directives, un certain nombre de types précis de brûlage à l'air libre sont examinés dans des catégories génériques, parce que les moyens de réduire l'émission de polluants organiques persistants à l'intérieur de chaque catégorie sont typiquement similaires (Lemieux, Lutes and Santoianni 2004). On ne considère pas ici les feux accidentels et la combustion intentionnelle de matériaux qui ne sont pas des déchets; cependant, il se peut que ceux-ci soient également des sources de polluants organiques persistants. Il est vivement recommandé que les signataires de la Convention prennent des mesures afin de réduire le brûlage accidentel de la biomasse de tous types, ainsi que les feux accidentels dans les habitations, les automobiles et les endroits où se font des affaires. Il se peut que les signataires souhaitent également considérer la mise en place de restrictions sur les feux d'artifice ou sur d'autres brûlages de loisir à l'air libre.

1.3 Base scientifique et considérations générales

La composition des déchets varie en fonction de la source. Les déchets domestiques contiennent plus de matières organiques; les déchets industriels peuvent contenir plus de métaux et peut-être des composés organiques. Une partie des déchets – même des déchets domestiques comme des vêtements ou du cuir – peuvent contenir des polluants organiques persistants (UNEP 2003). Les Sections III.C (i) et (ii) des présentes directives décrivent les mécanismes de formation des polluants organiques persistants et leur rapport avec des matériaux, dans les déchets qui pourraient être contaminés. Le sous-section 1.3.1 ci-dessous contient des directives générales sur les matériaux et les procédés; les sous-sections 2 à 4 contiennent encore d'autres informations sur la composition des matériaux pour différents types de déchets.

La composition des déchets varie aussi entre les pays, et dans le temps. Des données précises sur la composition des déchets venant de chaque pays faciliteront la gestion des déchets disponibles pour le recyclage ou une réutilisation, et permettront une diminution des quantités brûlées à l'air libre.

■ Figure 1. Animaux broutant près d'un brûlage à l'air libre



> Les animaux broutant peuvent souffrir d'effets néfastes à cause de brûlage à l'air libre, et peuvent ingérer des substances dangereuses. Photo: Kenya POPs Office.

Il n'existe que peu de données sur la génération de polluants organiques persistants venant de combustions incontrôlées de déchets. La plupart de l'expérimentation provient de tests sur un brûlage en fûts, mais il n'existe pas, ou que très peu de données, sur des feux de décharges, le brûlage à l'air libre dans des fosses, ou le brûlage sur le sol.

Le document du PNUE: *UNEP Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases* (UNEP 2003) donne une bonne base pour le calcul des émissions de dioxines et de furanes. Certaines Parties qui ont terminé leurs inventaires de dioxines et de furanes à l'aide du Toolkit, ont trouvé que le brûlage à l'air libre représentait une des quatre sources principales de dioxines et furanes.

1.3.1 Le procédé de brûlage

A court terme, où il n'y a pas de moyen réaliste pour supprimer le brûlage à l'air libre, la meilleure chose à faire est de réduire la quantité de matière détruite par cette méthode. Ceci est compatible avec la Convention et son objectif d'arrêter cette pratique.

D'autres techniques qui pourraient contribuer à améliorer la situation sont (Gullett 2003):

Concernant les matériaux brûlés:

- Eviter d'inclure des matériaux qui ne brûlent pas, tels que le verre et les métaux en vrac, des déchets mouillés et des matériaux de faible combustibilité;
- Eviter des charges de déchets contenant des teneurs élevées en chlore, que ce soit des chlorures inorganiques comme le sel, ou des organo-chlorés comme le PVC (Lemieux *et al.* 2003)¹;
- Eviter les matériaux contenant des métaux catalytiques comme le cuivre, le fer, le chrome et l'aluminium, même en faible quantité;
- Les matériaux à brûler devraient être secs, homogènes ou bien mélangés, et avoir une faible densité (par exemple, les matériaux non-compactés).

Concernant le procédé de combustion:

- Assurer un débit d'air suffisant;
- Maintenir une vitesse de combustion ou de perte de poids constante;
- Minimiser la combustion lente, peut-être avec une extinction directe. La combustion lente (*smouldering* en anglais) est la phase de combustion associée à la plus grande production de polluants organiques persistants (Lemieux *et al.* 2003);
- Limiter le brûlage à quelques petits feux, bien retournés et bien ventilés, plutôt que des feux de décharge ou en conteneurs mal ventilés.

Les explosifs potentiels (par exemple: les bombes aérosols, les conteneurs remplis en partie de liquides inflammables) et les matériaux dangereux devraient être enlevés, notamment ceux qui devraient être détruits selon les meilleures techniques disponibles décrites dans d'autres parties du guide (voir section V.A. (i), sous-section 2.2 du présent guide).

1.3.2 Manipulation après brûlage

Avant que les déchets brûlés puissent être traités ou couverts, ils doivent être complètement éteints. Si cela n'est pas vérifié, de grandes surfaces pourraient prendre feu par la suite de manière incontrôlée ou bien le brûlage lent pourrait continuer. Les cendres provenant de la combustion de déchets mixtes ne devraient pas être mises dans des zones de fourrage, mais mises en décharge plutôt que d'être épandues.

■ Figure 2. Mode typique d'élimination de déchets mixtes par brûlage à l'air libre



1.3.3 Considérations sur la santé et la sécurité

En plus des conseils donnés ci-dessus, des mesures devraient être prises pour atténuer l'exposition aux dioxines et furanes. Il est généralement reconnu que la plupart des expositions pour l'homme provient de la chaîne alimentaire. Ainsi, les sites de brûlage qui sont nécessaires devraient être situés loin de la production de végétaux et d'animaux servant à l'alimentation. Situer les lieux de combustion loin des populations ou au moins sous le vent par rapport aux zones résidentielles est une bonne chose.

En plus d'isoler la population des odeurs, des nuisances et des possibilités d'exposition à des substances potentiellement toxiques dégagées par le brûlage à l'air libre, il faudrait dans tous les cas (que ce soit dans une décharge ou dans une installation isolée) que le personnel surveillant les feux se tiennent en amont de la direction du vent et à une distance suffisante par rapport aux déchets qui brûlent. Des vêtements de protection, tels que des gants, des bottes et des combinaisons, avec des masques à fumée et des lunettes protectrices, sont conseillés.

1.3.4 Technologies et pratiques intermédiaires de brûlage

Des dispositifs de combustion, parfois appelés «incinérateurs» par les vendeurs, sont vendus dans le but de brûler les déchets. Dans certains cas ces dispositifs sont aussi simples que des fûts ou des barils en acier qui renferment les déchets mais qui ne constituent pas une meilleure technique disponible pour l'incinération. Pour les besoins de ce guide, nous considérons le brûlage à l'air libre comme étant n'importe quelle forme de combustion pour l'élimination des déchets, que ce soit en tas ou confiné dans des bidons en métal ou des chambres de combustion, qui ne respecte pas les normes d'incinération (en utilisant les meilleures techniques disponibles) de déchets municipaux, médicaux ou dangereux, comme défini par une Partie.

L'utilité de ces dispositifs de brûlage est limitée par un manque d'information sur la génération de polluants organiques persistants. Il est fortement conseillé que les marchands de ces dispositifs fournissent de telles données, de manière spécifique pour les déchets pour lesquels ils sont destinés.

2. Brûlage intentionnel de la biomasse

2.1 Résidus agricoles/récoltes et débris de défrichage

2.1.1 Composition de la matière

En général, cette matière est la biomasse: bois, herbes et autres végétaux. Selon la région, la matière peut inclure du sisal, des pellicules de café, des rafles de maïs, des bagasses de canne à sucre ou des balles de riz. La matière peut être composée de plantes vivantes, de bois mort ou de matière végétale qui a été coupée et séchée. Le brûlage intentionnel ne constitue pas une combustion bien contrôlée malgré le fait que les frontières géographiques de la matière à brûler ont été bien définies.

Les matériaux constituant la biomasse varieront en teneur en eau (matière sur pied contre matière récoltée, saison sèche contre saison humide, humidité faible contre humidité élevée), la densité de combustible (masse par hectare et degré de compactage ou autre mesure) et les espèces. Les matériaux varient de manière naturelle en teneur de chlorure et peuvent avoir été traités par des produits chimiques (pesticides ou fertilisants chlorés), en métaux capables de catalyser la formation de polluants organiques persistants (cuivre, par exemple dans le bois traité à l'arséniate de cuivre et de chrome) ou en inhibiteurs (soufre, matériaux contenant de l'azote), tous pouvant causer la formation de polluants organiques persistants, en particulier les dioxines et furanes, durant la combustion incontrôlée (voir sous-section 1.3 sur les considérations générales). Quelques études sur le brûlage de la biomasse à grande échelle ont été publiées (Lobert *et al.* 1999; Nussbaumer and Hasler 1998; Gullett and Touati 2003; Gullett and Touati 2002).

2.1.2 Obstacles à l'élimination; remèdes ou moyens politiques pour s'affranchir des obstacles

Le brûlage autorisé peut être permis par le gouvernement dans les cas de bénéfice économique reconnu (réduction des coûts), bénéfice agricole reconnu (cendres employées comme adjuvants), contrôle (utile ou de récréation) des termites, reptiles ou autres insectes. Dans chacun de ces cas le gouvernement a le pouvoir de retirer l'autorisation pour ce type de brûlage, et la possibilité d'éduquer le public concernant la nature nuisible du brûlage à l'air libre, notamment s'il est effectué à grande échelle.

Dans certains cas, tels que le contrôle des termites, le brûlage à l'air libre de la biomasse peut s'avérer être l'approche la moins problématique du point de vue environnemental. Le coût et la disponibilité de moyens alternatifs pour élimination et la gestion écologique peuvent constituer les facteurs prépondérants.

2.1.3 Stratégies et moyens politiques pour éviter, réduire ou détourner les déchets

Lorsque c'est possible, la récolte faite par machine, associée à des utilisations alternatives non destructives pour les matières récoltées, peut diminuer la nécessité d'un brûlage en masse. Dans les zones où il y a du bétail, les cultures peuvent être récoltées pour l'ensilage. L'herbe peut être séchée pour faire du foin; d'autres déchets de cultures peuvent être traités pour en faire du fourrage, être fermentés, être décomposés *in situ* ou réduits en compost; le bois de qualité peut être récupéré pour la construction; les déchets des dépôts de bois peuvent être utilisés pour le compost ou pour l'amendement du sol; une partie de la biomasse non traditionnelle peut être utilisée comme matière première pour l'industrie du papier. Dans la plupart des cas, ces alternatives nécessitent également des marchés et des infrastructures pour atteindre une viabilité économique.

Des résultats avantageux peuvent être obtenus si les résidus de végétation agricole sont réduits en compost, notamment dans les régions à terre pauvre. Les techniques de zéro brûlage, comme décrites par l'Association des Nations du Sud-Est Asiatique, devraient être appliquées aux régions et aux cultures où cela est possible (ASEAN Secretariat 2003). La réduction et l'élimination des polluants organiques persistants, formés par le brûlage à l'air libre, peuvent présenter une opportunité de réformer les pratiques agricoles.

2.1.4 Alternatives, obstacles à l'utilisation et moyens politiques pour s'affranchir des obstacles

Les alternatives varient selon la situation. Les obstacles peuvent concerner le manque d'éducation, le manque de volonté du gouvernement pour diminuer la dépendance au brûlage à l'air libre afin de remplir les objectifs, et le manque d'équipements ou de procédés de rechange par lesquels le brûlage à l'air libre pourrait faire partie intégrante de l'agriculture locale. Le coût de n'importe quelle alternative peut représenter un obstacle et, comme avec toutes les réformes, des instruments économiques peuvent être nécessaires ou souhaitables pour provoquer un changement. Des projets de démonstration et des études dans les régions peuvent aider à comprendre la faisabilité des alternatives.

2.1.5 Techniques de brûlage et attributs, et moyens d'amélioration

Dans les régions où le brûlage à l'air libre de la biomasse est permis par la politique gouvernementale, les améliorations du procédé notées dans l'orientation générale devraient être appliquées. Une planification consciencieuse des brûlages planifiés, modulée par les conditions météorologiques, permettra un meilleur contrôle et une exposition moindre de la population à la fumée sous le vent. Après les feux, la gestion des cendres peut poser problème.

L'utilisation de produits chimiques dans l'agriculture et la sylviculture devrait être minimisée et compatible avec les besoins locaux et avec une bonne gestion. Dans les zones où le défrichage mécanique et une utilisation alternative des récoltes sont possibles, les brûlages accidentels peuvent être évités; toutefois, dans certaines situations locales, de petits brûlages autorisés peuvent avoir leur place dans un schéma

de gestion globale des terres s'ils sont utilisés pour éviter un brûlage involontaire et plus dévastateur avec des émissions concomitantes plus importantes de polluants organiques persistants. Reconnaissant qu'il peut y avoir une perte du contrôle des brûlages autorisés, les méthodes de lutte contre le feu (formation, équipement, planification), les infrastructures (accès, routes) et la gestion prévisionnelle sont toutes des mesures d'aide secondaire raisonnables.

3. La combustion à ciel ouvert de déchets mixtes de produits ménagers

3.1 Déchets ménagers, feux de décharges/dépotoirs, déchets industriels non dangereux

3.1.1 Composition de la matière

Les déchets ménagers et la composition des décharges et des dépotoirs peuvent être qualitativement assez similaires. Ils diffèrent notamment quand leur composition est modifiée par des programmes (tels que le recyclage, le lavage, le compostage ou une autre ségrégation) qui enlèvent certains gisements de déchets entre le moment où ils sont collectés, et le lieu de dépôt. Des déchets industriels non dangereux peuvent provenir des établissements commerciaux tels que les magasins, les restaurants et les usines fabriquant de petits objets. Ils seront différents selon la source commerciale exacte mais pourraient contenir une bonne partie des mêmes matériaux trouvés dans les déchets ménagers.

Le brûlage des déchets à ciel ouvert a été le sujet d'une importante étude (Lemieux *et al.* 2003). Il semble cependant qu'il n'y a que très peu de données concernant les feux d'ordures et les polluants organiques persistants (Lemieux, Lutes and Santoianni 2004). Des études sur la composition des déchets montrent les différences dans les déchets entre les pays et, notamment, entre les pays développés et les pays en voie de développement. Dans les pays en voie de développement, pas moins de 50% de la composition des déchets sont putrescibles tels que les résidus domestiques. Dans les pays développés, on peut trouver davantage d'emballages et d'appareils électroniques à moins que ces matériaux aient été éliminés par d'autres systèmes de fin de vie. Des différences importantes peuvent également exister entre les déchets urbains et ruraux et aussi parmi les déchets de régions différentes, indépendamment de leur développement. En général, les déchets produits par les ménages et les déchets de décharges contiennent du papier, du plastique, des matières organiques telles que les déchets alimentaires, du verre, du métal, du bois, du cuir et d'autres matériaux divers. Dans des conditions mal contrôlées, des déchets ménagers dangereux tels que les produits d'entretien, les peintures et les solvants peuvent se retrouver dans des décharges ou des dépotoirs de matières non dangereuses.

En plus, des méthodes de gestion insuffisantes affecteront la composition et la performance d'une décharge ou d'un dépotoir. Dans une décharge moderne, compartimentée, une couche de terre ou d'argile sera placée tous les jours sur les

déchets, pour réduire non seulement la teneur en humidité de la décharge, mais aussi les risques d'une combustion spontanée. Un dépotoir traditionnel, en comparaison, est bien moins organisé et présente plus de risques de brûler spontanément.

Tous les lieux de stockage des déchets dégageront certains gaz combustibles (par exemple, le méthane), par dégradation anaérobie des matières organiques contenues à l'intérieur. A moins que ce gaz soit contrôlé, il constitue un produit très inflammable pouvant mener à une combustion spontanée ou anthropique illicite. C'est aussi un gaz à fort effet de serre. Des systèmes de captage du méthane ont été conçus et réalisés en tant que partie intégrante de la technologie des décharges modernes, aussi bien pour des raisons de sécurité que pour la récupération possible d'énergie.

3.1.2 Obstacles à l'élimination; remèdes ou moyens politiques pour s'affranchir des obstacles

3.1.2.1 Déchets ménagers

Les déchets ménagers peuvent être brûlés à l'air libre, où le coût, la convenance ou les habitudes locales et l'acceptabilité sociale rendent cette option séduisante pour les citoyens ou les communautés. Dans les cas où les gens habitent loin d'une zone de contrôle municipale, les solutions adoptées pour l'élimination des déchets seront certainement *ad hoc*. Sans systèmes appropriés, elles seront même *ad hoc* à l'intérieur de la zone de contrôle municipale.

Pour empêcher la pratique du brûlage à l'air libre, il faut que des alternatives raisonnables existent et le public doit être éduqué et informé au sujet de leur disponibilité et des risques que de telles pratiques présentent.

■ Figure 3. Tri centralisé de déchets pour réutilisation et recyclage



La collecte à la source, ou centralisée, des déchets; le recyclage; le transport, ou toute autre méthode d'élimination qui sont efficaces et acceptables sur le plan des coûts, doivent être mis en place. Les décharges doivent être conçues et exploitées selon les normes modernes (Hickman and Eldredge 2004). Si une combustion doit être effectuée, l'incinération employant les meilleures techniques disponibles, avec récupération d'énergie, est fortement préférable.

Le gouvernement doit accepter la responsabilité pour la création de systèmes de réutilisation et d'élimination des déchets, en tant que service public. Les pays et les municipalités doivent ensuite montrer de la volonté pour mettre fin au brûlage à l'air libre, et accepter la responsabilité de faire respecter ces lois. En outre, là où le traitement en décharge moderne est une option, les plans et règlements concernant la gestion des déchets doivent inclure des provisions pour l'implantation de nouvelles décharges afin de conserver la capacité d'élimination.

La simple acceptation d'une responsabilité pour la mise en place de systèmes de gestion des déchets ne constituera pas en soi la fin de combustions à l'air libre. Les déchets pourraient être collectés et déposés dans des décharges ou dépotoirs, qui peuvent eux-mêmes être des lieux pour une combustion à l'air libre. Des directives et des pratiques doivent être développées et appliquées à ces services centralisés. L'allumage et la combustion spontanés peuvent être réduits par le captage du gaz de décharge ou par des règlements imposant des techniques modernes de construction des décharges, ainsi que la fermeture définitive de dépotoirs obsolètes.

3.1.2.2 Combustion anthropique accidentelle

La combustion anthropique accidentelle dans les dépotoirs peut être réduite en interdisant, en autorisant ou en limitant l'accès aux décharges et dépotoirs. Dans de nombreux cas les feux sont allumés par les chiffonniers qui vivent ou travaillent dans ces zones. Les feux, accidentels ou intentionnels, peuvent s'étendre à des matériaux mis au rebut ou aux gaz de la décharge. Les autorités doivent prendre leur responsabilité et promulguer une réglementation qui organise les activités de chiffonnage, qui assure des conditions de travail sans risque aux employés, et qui limite l'accès aux décharges et aux dépotoirs, et empêche aussi qu'on en fait des lieux d'habitation.

3.1.2.3 Combustion anthropique intentionnelle

La combustion anthropique intentionnelle, c'est-à-dire le brûlage des ordures pour réduire le volume, doit être interdite par les autorités. Afin d'éviter la nécessité de brûler les ordures, une planification suffisante doit être mise en place pour la taille, l'espace disponible, l'emplacement et la gestion de la décharge, ainsi que pour des programmes de réduction et d'élimination des déchets, pour en réduire la nécessité.

La gestion des déchets est tout un système. Lorsque le système fonctionne pour que l'élimination finale des vrais déchets soit une responsabilité collective plutôt qu'une responsabilité individuelle, les coûts économiques directs peuvent augmenter, mais les coûts et les impacts environnementaux baisseront, en général.

3.1.3 Stratégies et moyens politiques pour éviter, réduire ou détourner les déchets

3.1.3.1 Réduction des sources

Une étude consciencieuse de la composition des déchets locaux peut aboutir à des programmes spécifiques pour la réduction de flux de volume importants. Par exemple, dans certains cas, les achats en vrac de produits peuvent réduire le besoin d’emballages individuels. Cette stratégie et d’autres peuvent varier selon la densité de population.

3.1.3.2 Le compostage

Aux endroits où d’importantes fractions de déchets ménagers peuvent biodégrader, et où la densité de la population le permettra, les municipalités devront fournir une formation sur les avantages d’un compostage économiquement rentable, en termes de coûts et d’espace nécessaire. Cette stratégie comprend une diversion appropriée de déchets organiques en aliments pour animaux, ou vers une autre utilisation productive, tenant compte des soucis à propos de la propagation de maladies. L’éducation doit couvrir les moyens de contrôle des vecteurs de vermines et de maladies. Certains déchets organiques peuvent contenir des polluants organiques persistants ou des matériaux qui pourraient être transformés en polluants organiques persistants sous certaines conditions de compostage, et ils devraient être traités séparément afin de garantir un compost de haute qualité avec une faible teneur en de tels polluants. Dans certains cas, le compostage peut être amélioré par la substitution de produits de remplacement par certains matériaux biodégradables.

3.1.3.3 Réutilisation

Lorsque des morceaux ou des appareils entiers peuvent être récupérés, réparés ou convertis, tels que les articles manufacturés, la nécessité d’une élimination peut être réduite. Dans de nombreux cas, l’utilisation de travailleurs dans de telles tâches, qui créent de la valeur, peut être plus rentable et bénéfique économiquement que l’achat de nouveaux appareils.

3.1.3.4 Recyclage

Beaucoup de déchets contiennent des matériaux ayant une valeur de récupération. Les métaux, le verre, les papiers secs propres, le carton ondulé, les tissus, les plastiques et le bois sont des matériaux recyclables. Selon la situation, la collecte centralisée et l’infrastructure de recyclage peuvent être rentables. Dans d’autres cas, le fait de mettre à disposition un endroit sûr, proche des décharges ou dépotoirs, et d’encourager le développement des marchés pour les matériaux recyclés peut faciliter la récupération par les chiffonniers. Cette approche pourra contribuer fortement à la création d’emplois, à la conservation de ressources et aux stratégies de réduction de la pauvreté.

3.1.3.5 Incinération

Dans certaines situations, l’incinération employant les meilleures techniques disponibles, notamment avec récupération d’énergie, et brûlage à l’air libre, peuvent coexister.

L'incinération est préférable au brûlage à l'air libre mais peut ne pas être la seule alternative. Les autorités doivent prendre soin de comprendre les obstacles locaux spécifiques à la suppression du brûlage à l'air libre en faveur d'une élimination plus favorable du point de vue écologique, y compris la réduction des sources, la réutilisation, le recyclage et l'incinération, employant les meilleures techniques disponibles. La collecte et le coût peuvent être un tel obstacle; cependant, l'incinération utilisant les meilleures techniques disponibles, quand elle est associée à la récupération d'énergie, peut atténuer ce coût et fournir un bénéfice énergétique important.

3.1.3.6 Les décharges modernes

Etant donné les différences entre les décharges modernes et des dépôts sauvages, la construction de décharges modernes avec captage du gaz et du lixiviat, et la mise en place d'opportunités appropriées pour le recyclage et la réutilisation, sont préférables au brûlage à l'air libre. Comme il est noté ci-dessus, il faut que les autorités acceptent de sensibiliser les populations et de fournir des options pour une élimination rentable des déchets, si le brûlage à l'air libre doit être supprimé.

Les décharges modernes diffèrent des dépotoirs sur de nombreux points. En tant que constructions planifiées, elles sont typiquement plus sûres, plus hygiéniques et moins enclins à une combustion causée par l'homme. Elles nécessitent également une gestion active et des mesures de sécurité pour exclure les personnes non autorisées (par exemple, les chiffonniers), et peuvent être relativement plus coûteuses que le brûlage à l'air libre ou les décharges sauvages.

Les mesures qui interdiront l'élimination de déchets dangereux industriels et infectieux dans les flux de déchets normaux, vont améliorer la sécurité des systèmes d'élimination municipaux. Les gouvernements peuvent encourager l'emploi de méthodes alternatives listées ci-dessus en appliquant les restrictions juridiques sur la combustion à l'air libre; en introduisant un système d'autorisations pour le compostage, le recyclage ou la récupération; en taxant les excédents de déchets placés dans les filières d'élimination; ou en instituant des systèmes de gestion de ressources moins chers et plus pratiques.

3.1.4 Alternatives, obstacles à l'utilisation et outils politiques pour s'affranchir des obstacles

Les stratégies disponibles pour la réduction des déchets et les alternatives au brûlage à l'air libre, sont en grande partie les mêmes.

3.1.5 Techniques de brûlage et attributs, et moyens de perfectionnement

Lorsqu'aucune des alternatives mentionnées précédemment n'est possible, ou quand les alternatives ne peuvent pas être appliquées correctement, les gouvernements pourront sensibiliser les citoyens sur les façons de réduire les impacts des combustions à l'air libre. Ces améliorations de procédé ont été exposées dans l'orientation générale.

3.2 Construction, démolition et débris d'après désastre

3.2.1 Composition de la matière

3.2.1.1 Déchets de construction

Les déchets de construction sont constitués des matériaux usuels de construction, et peut-être des emballages dans lesquels les matériaux sont apportés sur le site (par exemple, palettes et sacs). Les matériaux de construction de bâtiments varient en taille, type et emplacement géographique. Les types de bâtiments, qu'ils soient des commerces, des bureaux, des logements pour famille ou des logements individuels, diffèrent de manière importante entre les pays développés et les pays en voie de développement, ainsi qu'entre régions. Les matériaux de construction combustibles communs comprennent le bois, le papier et autres dérivés cellulosiques, l'asphalte, la peinture et divers plastiques. La contamination des combustibles par les métaux n'est pas inconnue.

3.2.1.2 Déchets de démolition

Les déchets de démolition, en particulier les déchets après un sinistre, contiendront des matériaux venant de divers bâtiments. Ces matériaux varient également avec le type de bâtiment, la géographie et le développement économique de la région. Les vestiges partiellement brûlés d'un incendie lors d'une opération industrielle peuvent également être qualifiés de débris d'après sinistre ou de déchets dangereux.

Pour les habitations, cette ressemblance sera avec les déchets ménagers, et sera plus prononcée dans les pays en voie de développement; dans les pays développés, il y a une plus grande proportion de tissus (vêtements), de mousses (meubles), de plastiques rigides (appareils électroménagers) et de fibres (moquettes).

Pour les bâtiments commerciaux, les contenus sont représentatifs du type de commerce et comprennent du mobilier et des fibres semblables à ceux des habitations, ainsi que de l'électronique et des volumes de papier (bureaux) ou des quantités de produits à vendre.

3.2.2 Obstacles à l'élimination; remèdes ou moyens politiques pour s'affranchir de obstacles

La combustion intentionnelle de déchets dérivés de la construction ou de la démolition est motivée par des coûts bas, et par la commodité sur le chantier. Elle est utilisée à cause de besoins sanitaires, du coût de l'enlèvement, de la gêne causée par l'enfouissement sur place ou de l'indisponibilité d'alternatives. Alors que c'est une pratique médiocre, qui devrait absolument être évitée pour des raisons de santé publique, la combustion intentionnelle de débris résultant d'une catastrophe est courante à cause du manque d'alternatives, du désir d'éviter à faire appel à trop d'espaces d'enfouissement, ou de la commodité qu'elle représente pour dégager les zones après un tremblement de terre (Nakao *et al.* 1997). Le problème, essentiellement, est le coût, que ce soit le coût direct ou le coût de développement ou d'utilisation d'autres moyens d'élimination.

3.2.3 Stratégies et outils politiques pour éviter, réduire ou détourner les déchets

Les déchets de construction propres et non contaminés, peuvent être des matériaux collectés, triés et utilisables réaffectés à d'autres constructions, au déchetage pour des paillis et au recyclage des matériaux. La démolition, quand elle est effectuée comme un démontage, peut rendre de nombreuses installations propices à la revente et à la réutilisation. Les matériaux issus de la démolition et qui ne peuvent pas être réutilisés ou retravaillés peuvent être séparés et éliminés, la plupart en tant que déchets de construction.

Alors qu'en théorie, les stratégies employées pour le traitement des déchets de construction et de démolition peuvent également être employées pour les débris après un sinistre, l'échelle peut être considérablement différente. Après un sinistre, il peut ne pas y avoir d'autre choix que d'emporter les matériaux dans une décharge, d'autoriser le chiffonnage comme d'habitude ou d'y mener des opérations de récupération. Mettre en décharge, sans qu'il y ait chiffonnage ou incinération employant les meilleures techniques disponibles, peut être la meilleure option dans une urgence, selon les circonstances précises.

Les gouvernements peuvent, et certains le font, interdire le brûlage des débris de construction et de démolition à l'air libre. Aux endroits où il n'y a que peu d'infrastructures pour la gestion des déchets, une bonne partie des outils mis en œuvre pour la récupération des déchets ménagers peut être utile pour les matériaux de construction et de démolition.

3.2.4 Alternatives, obstacles à l'utilisation et outils politiques pour s'affranchir des obstacles

Comme il a été exposé ci-dessus, les alternatives à l'élimination des déchets sur les chantiers de construction et de démolition sont la collecte, la séparation, le démontage, la réutilisation et le recyclage. Ces procédés peuvent être viables économiquement ou peuvent le devenir par des changements dans les lois ou règlements qui régissent l'élimination de ces matériaux. De tels moyens comprennent: l'interdiction du brûlage à l'air libre, des taxes sur l'enlèvement en décharge des matériaux de construction et de démolition, ou des moyens économiques encourageant le recyclage. Dans de nombreux cas, la revente des installations est déjà viable économiquement; ceci est surtout vrai dans les pays en voie de développement.

En outre, les contrats pour le travail de construction peuvent être rédigés en précisant que l'enlèvement des débris incombe à l'entrepreneur. Des moyens d'élimination acceptables peuvent également être spécifiés par contrat.

3.2.5 Techniques de brûlage et attributs, et moyens d'amélioration

Pour ces matériaux, l'orientation générale reste valable, comme cela est exposé ailleurs dans le document. Le brûlage à l'air libre ne devrait se faire qu'en dernier ressort et devrait exclure explicitement les matériaux qui brûlent mal, ou de manière incomplète.

4. Brûlage à l'air libre de matériaux spécifiques et divers

4.1 Plastiques agricoles

4.1.1 Composition du matériau

Les feuilles minces agricoles en plastique sont généralement composées de polyéthylène pour une raison de coût, mais l'éthylène-acétate de vinyle (EVA) est également proposé à la vente. Le PVC a été utilisé dans le passé, mais beaucoup moins aujourd'hui. Parmi d'autres utilisations, ces feuilles sont employées pour recouvrir les champs en début de saison afin de réchauffer le sol, pour emballer les balles, comme sac pour l'ensilage, les engrais et les produits agrochimiques, et aussi comme film pour serres. Certains fournisseurs spécialisés vendent un matériau biodégradable.

On trouve également des conteneurs en plastique rigide pour pesticides ou autres produits agrochimiques. Les sacs sont en général fabriqués de polyéthylène basse densité; les bouteilles, bidons et cuves sont en général en polyéthylène haute densité, en polyéthylène multicouche, ou bien sont des conteneurs en polyéthylène dont la surface intérieure est traitée pour réduire les interactions avec le produit contenu. Un rapport disponible traite d'expériences au cours desquelles des sacs contenant des résidus de pesticide ont été brûlés, mais indique qu'on n'a trouvé des PCDD/PCDF «qu'en très faibles quantités», et aucune émission dans l'air ou dans le résidu solide (Oberacker *et al.* 1992). En suivant les procédures publiées concernant le rinçage des conteneurs, et le traitement adéquat de l'eau de rinçage, on réduira de manière significative cette faible possibilité.

4.1.2 Obstacles à l'élimination; remèdes ou outils politiques pour s'affranchir des obstacles

Les matériaux qui se trouvent loin d'un dispositif de collecte de déchets seront mis au rebut en employant la méthode la plus rentable et la plus commode. Le brûlage pourrait être réduit par la mise en place d'un système de collecte de matériaux, en particulier si beaucoup de fermiers d'une région utilisent le même matériau. Les gouvernements peuvent également instituer des programmes de sensibilisation et décréter des lois interdisant le brûlage.

4.1.3 Stratégies et outils politiques pour éviter, réduire ou détourner les déchets

Les feuilles agricoles en plastique sont largement recyclées dans certains pays. Cela est facilité lorsque le matériau est collecté séparément. Là où il n'y a pas d'opportunité de recyclage, d'autres formes d'élimination sont employées, y compris la mise en décharge. L'emploi d'additifs tels que les inhibiteurs d'UV peut rallonger la vie des feuilles pour les serres, et réduire le besoin d'élimination. En absence de programmes spécifiques, le matériau utilisé pour emballer les balles ou le compost est mis au rebut de la même manière que n'importe quel emballage dans une région particulière. Dans certaines régions, le film peut être spécialement recyclé, incorporé à des composites bois-plastique ou transformé en combustible dérivé des déchets pour la combustion dans un

incinérateur employant les meilleures techniques disponibles. Pour les bouteilles en plastique, l'Organisation Mondiale de la Santé recommande un triple rinçage avant de les percer et de les enterrer (Rosendaal 1997, ch. 10).

4.1.4 Alternatives, obstacles à l'utilisation et outils politiques pour s'affranchir des obstacles

Les stratégies pour la réduction des déchets et les alternatives au brûlage à l'air disponibles sont largement cohérentes.

4.1.5 Techniques de brûlage et attributs, et moyens de perfectionnement

Les feuilles plastiques agricoles, bien que combustibles à cause de la manière dont elles ont été fabriquées, auront tendance à fondre et à rétrécir. Une bonne combustion pourrait dépendre d'un déchetage préalable pour augmenter le rapport surface/volume ou pour permettre une alimentation relativement lente des matériaux dans le feu. Une combustion bien ventilée et à haute température est possible, mais peut être difficile à grande échelle si le plastique est le seul matériau brûlé.

Il se peut que les bouteilles ne brûlent pas bien à cause de leur rapport surface/masse, même si elles sont sèches et combustibles. Un combustible de remplacement peut être nécessaire et doit être un matériau conforme aux directives générales.

4.2 Les pneus

4.2.1 Composition du matériau

Les pneus sont faits d'un composite de copolymère styrène/butadiène ou caoutchouc naturel, de chloroprène, de polyamide, de câble d'acier, de noir de carbone et de nombreux autres additifs organiques et inorganiques. Les pneus contiennent de faibles concentrations de chlore; ils contiennent également beaucoup de soufre, en quantités similaires à celles du charbon à teneur moyenne en soufre, à la suite de la vulcanisation. Le soufre empêche la formation de polluants organiques persistants lors de la combustion; la probabilité de formation de polluants organiques persistants chlorés dans ces déchets est plus basse que pour les déchets mixtes. Toutefois, la mauvaise combustion de grandes quantités de pneus dans le brûlage à l'air libre est une source de PCDD/PCDF et générera certainement de grandes quantités d'autres polluants dangereux, y compris le SO₂ et des hydrocarbures polycycliques aromatiques.

4.2.2 Obstacles à l'élimination; remèdes ou outils politiques pour s'affranchir des obstacles

L'allumage de feux de pneus peut être naturel (la foudre) ou anthropique. Les pneus en décharge présentent un certain nombre de dangers, y compris la possibilité d'une culture de vecteurs de maladies par les insectes. En outre, les décharges prennent beaucoup de place. Les pneus peuvent être brûlés intentionnellement, et ceci a été fait dans certains cas, pour résoudre les deux problèmes cités.

4.2.3 Stratégies et outils politiques pour éviter, réduire ou détourner les déchets

Dans de nombreux cas, les pneus usagés peuvent être retraités et réutilisés. La technologie moderne a multiplié la durée de vie du pneu moyen par dix au cours des trente dernières années. L'utilisation de pneus dont la durée de vie est la plus longue, réduit la nécessité d'une élimination. Les pneus peuvent également être recyclés à diverses autres fins, aussi bien entiers que déchiquetés. Les pneus entiers, ou déchiquetés de préférence, peuvent être mis en décharge. Cependant, les pneus entiers et les articles similaires comme les bouteilles non-compactées peuvent avoir tendance à flotter vers la surface d'un dépotoir. Le rassemblement de pneus dans les décharges à l'air libre constitue une intrusion visuelle et un danger pour le contrôle des insectes et potentiellement pour une combustion incontrôlée.

4.2.4 Alternatives, obstacles à l'utilisation et outils politiques pour s'affranchir des obstacles

Les pneus usés peuvent être réutilisés en entier, déchiquetés ou cryobroyés en poudre. Les pneus transformés peuvent être utilisés dans de l'asphalte modifié par du caoutchouc, ceci pour les matériaux de revêtement routier. Les pneus déchiquetés et broyés ont également été comprimés et utilisés dans les matériaux de construction. Les pneus déchiquetés sont employés comme matériaux de remplissage pour les terrains de jeux. En outre, les pneus peuvent servir comme matériaux pour des applications diverses, telles que clôtures, création de récifs, contrôle de l'érosion du sol, sandales, pas de portes, et conteneurs pour déchets, mais sans oublier qu'en tant que matériau composite, thermodurcissable, le caoutchouc recyclé accuse certaines limites pour sa transformation. En utilisant des pneus entiers au niveau du sol, il faut tenir compte du fait qu'ils peuvent accumuler de l'eau et par conséquent favoriser le développement d'infestations d'insectes; ceci doit être atténué autant que possible.

Si les pneus entiers ou déchiquetés doivent être brûlés dans des fours à ciment, cela doit se faire dans des bonnes conditions de combustion selon les meilleures techniques disponibles décrites dans la section V.B du présent guide. Ainsi, le four devrait respecter le niveau de performance pour les rejets des PCDD/PCDF dans l'air, associés aux meilleures techniques disponibles ($<0,1 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$). Les rejets de substances chimiques inscrites à l'Annexe C dans les poussières des fours à ciment, et peut-être *via* le clinker ont été trouvés et font actuellement l'objet d'études plus poussées.

4.2.5 Techniques de brûlage et attributs, et moyens de perfectionnement

Le brûlage de pneus à l'air libre aboutit à la formation et au rejet de substances chimiques inscrites à l'Annexe C. Que ce soit en vrac ou en tas, il n'existe pratiquement pas de moyen pour améliorer le brûlage de pneus à l'air libre; de plus, l'extinction de feux à grande échelle est presque impossible et ils pourraient brûler pendant des années.

4.3 Fuites d'hydrocarbures et torches

4.3.1 Composition du matériau

Le pétrole brut, le gaz naturel et le gaz associé sont constitués en grande partie de carbone et d'hydrogène avec des quantités plus faibles d'oxygène, de soufre et de chlore. À l'état naturel ou comme résultat des techniques de récupération, ils peuvent également contenir du sel ou de l'eau salée. Cela concerne particulièrement les hydrocarbures dispersés sur des sols contenant du sel ou d'autres matériaux chlorés, ou dans l'océan, ou la combustion d'hydrocarbures contaminés par une arrivée d'eau dans des puits forés, près d'une masse d'eau saline. Des hydrocarbures sortant par des fissures dans les conduits de pétrole, ont été brûlés pour atténuer la contamination possible d'une rivière gelée (Kruglov, Amirova and Loshkina 1996).

Le brûlage à l'air libre de pétrole dans des installations off-shore peut représenter, dans certaines circonstances, une source significative d'émissions. Dans le cas de déversements accidentels de pétrole, des méthodes de traitement biologique pourraient s'avérer utiles.

4.3.2 Obstacles à l'élimination; remèdes ou outils politiques pour s'affranchir des obstacles

Les barrières à l'élimination comprennent les considérations relatives au coût, à la commodité, à la sécurité et au manque de méthodes alternatives de récupération ou d'élimination.

4.3.3 Stratégies et moyens politiques pour éviter, réduire ou détourner les déchets

Le brûlage du gaz à la torche est une pratique courante. Dans la mesure où ceci constitue un problème environnemental, et ne représente pas d'une question de récupération de matière après un accident, des procédures améliorées de manipulation des matériaux, ou de récupération avec l'objectif d'une vente, pourraient améliorer la performance normale.

Références

ASEAN Secretariat. 2003. *Guidelines for the Implementation of the ASEAN Policy on Zero Burning*. www.dec.org/pdf_docs/PNACU609.pdf.

Basel Convention Secretariat. 1994. *Technical Guidelines on Wastes Collected from Households*. Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal, UNEP, Geneva.

Canadian Centre for Pollution Prevention. 2006. *Great Lakes Trash and Open Burning Website*. www.c2p2online.com/main.php3?section=137&doc_id=289.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 2005. *The Inventory of Sources and Environmental Releases of Dioxin-Like Compounds in the United States: The Year 2000 Update*. EPA/600/P-03/002A, Chapter 9. National Center for Environmental Assessment, Washington, D.C.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 2006. *Backyard Burning*. www.epa.gov/msw/backyard/.

Government of New Zealand. 2006. *National Environmental Standards for Air Quality*. www.mfe.govt.nz/laws/standards/air-quality-standards.html.

Great Lakes Binational Toxics Strategy. 2004. *Strategy/Implementation Plan for Reducing the Prevalence of Household Garbage Burning (Barrel Burning) in Rural Areas of the Great Lakes*. Great Lakes Binational Toxics Strategy, Dioxins/Furans Workgroup, Burn Barrel Subgroup.

Gullett B.K. 2003. *PCDD/F from Uncontrolled Combustion*. First Session, Expert Group on Best Available Techniques and Best Environmental Practices.

Gullett B.K. and Touati A. 2002. «PCDD/F Emissions from Agricultural Field Burning.» *Organohalogen Compd.* 56:135–138.

Gullett B.K. and Touati A. 2003. «PCDD/F Emissions from Forest Fire Simulations.» *Atmospheric Environment* 37:803–813.

Hickman H.L. and Eldredge R.W. 2004. *A Brief History of Solid Waste Management in the US During the Last 50 Years*. www.forester.net/msw_0001_history.html.

Kruglov E.A., Amirova Z.K. and Loshkina E.A. 1996. «PCDDs and PCDFs in Snow Coat of an Industrial City as a Result of Oil Incineration at Accident Place.» *Organohalogen Compd.* 28:228–231.

Lemieux P.M., Gullett B.K., Lutes C.C., Winterrowd C.K. and Winters D. 2003. «Variables Affecting Emissions of PCDD/F from Uncontrolled Combustion of Household Waste in Barrels.» *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 53:523–531.

Lemieux P.M., Lutes C.C. and Santoianni D. 2004. «Emissions of Organic Air Toxics from Open Burning: A Comprehensive Review.» *Progress in Energy and Combustion Sci.* 30:1–32.

Lobert J., Keene W., Logan J. and Yevich R. 1999. «Global Chlorine Emissions from Biomass Burning: Reactive Chlorine Emissions Inventory.» *J. Geophys. Res.* 104:8373–8389.

Nakao T., Aozasa O., Ohta S. and Miyata H. 1997. «Formation of Dioxin Analogues by Open Air Incineration of Waste Wood and Fire of Buildings and Houses Concerning to Hanshin Great Earthquake in Japan.» *Organohalogen Compd.* 31:304–309.

Nussbaumer T. and Hasler P. 1998. *Emissions of PCDD/F from Biomass Combustion*. Biomass for Energy and Industry, 10th European Conference and Technology Exhibition.

Oberacker D.A., Lin P.C., Shaul G.M., Ferguson D.T., Engleman V.S., Jackson T.W., Chapman J.S., Evans J.D. and Martrano R.J. 1992. «Characterization of Emissions from Open Burning of Pesticide Bags.» In: *ACS Symposium Series 510: Pesticide Waste Management*.

Rosendaal J.A. 1997. *Vector Control Methods for Use by Individuals and Communities*. World Health Organization, Geneva.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2003. *Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases*. UNEP, Geneva. www.pops.int/documents/guidance/Toolkit_2003.pdf.

Notes

¹ «On n'observe pas de différence entre log (TEQ) pour les sources Cl inorganiques (7% de Cl dans du CaCl₂) et les sources organiques (7% dans du PVC)» (Lemieux et al. 2003)



<http://www.pops.int>

UNEP/SSC/BATBEP/2008/6

Section V.I.M
Section V.I.L
Section V.I.K
Section V.I.J
Section V.I.I
Section V.I.H
Section V.I.G
Section V.I.F
Section V.I.E
Section V.I.D
Section V.I.C
Section V.I.B
Section V.I.A
Section V.D
Section V.C
Section V.B
Section V.A
Sections I-IV

DIRECTIVES SUR LES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES

en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants

Les procédés thermiques dans l'industrie
métallurgique autres que ceux mentionnés
dans l'Annexe C Partie II



Le contenu de cette publication peut être reproduit à des fins éducatives ou sans but lucratif, dans son intégralité ou en partie, quelque soit le format, sans autre permission spéciale, pourvu que la source soit parfaitement identifiée. Le Secrétariat de la Convention de Stockholm et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) souhaiteraient recevoir une copie de tout ouvrage utilisant cette publication comme référence. Cette publication ne peut faire l'objet de revente ou toute autre activité commerciale sans l'accord préalable et par écrit du PNUE.

Publiée par le Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en octobre 2008. Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser au:

Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Genève, Suisse
ssc@pops.int - www.pops.int

Mise en page et impression par: SRO-Kundig - Genève

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

T A B L E D E S M A T I È R E S

SECTION I: INTRODUCTION

- I.A** OBJECTIF
- I.B** STRUCTURE DU DOCUMENT ET UTILISATION DES DIRECTIVES ET CONSEILS
- I.C** PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C: DÉFINITIONS, RISQUES, TOXICITÉ
- I.D** ARTICLE 5 ET L'ANNEXE C DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- I.E** LIEN AVEC LA CONVENTION DE BÂLE
- I.F** LIEN AVEC D'AUTRES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

SECTION II: CONSIDÉRATIONS D'ALTERNATIVES DANS L'APPLICATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

- II.A** CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES DANS LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- II.B** LA CONVENTION DE STOCKHOLM ET LES SOURCES NOUVELLES
- II.C** UNE APPROCHE À LA CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES
- II.D** AUTRES CONSIDÉRATIONS DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM

SECTION III: MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES: DIRECTIVES, PRINCIPES ET CONSIDÉRATIONS CROISÉES

- III.A** DIRECTIVES
- III.B** PRINCIPES ET APPROCHES GÉNÉRAUX
- III.C** CONSIDÉRATIONS CROISÉES:
 - (i) PRODUITS CHIMIQUES DE L'ANNEXE C: MÉCANISMES DE FORMATION
 - (ii) CONSIDÉRATIONS SUR LA GESTION DES DÉCHETS
 - (iii) EFFETS BÉNÉFIQUES ADDITIONNELS DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LES PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C
 - (iv) GESTION DES GAZ DE PROCÉDÉ ET D'AUTRES RÉSIDUS
 - (v) FORMATION DES DÉCIDEURS ET DU PERSONNEL TECHNIQUE
 - (vi) MESURES, SUIVI ET PRÉSENTATIONS DES RAPPORTS

SECTION IV: COMPILATION DES RÉSUMÉS DES CATÉGORIES DES SOURCES INCLUSES DANS LES SECTIONS V ET VI

RESUMES DE LA SECTION V: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

RESUMES DE LA SECTION VI: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

SECTION V: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DE SOURCES: CATEGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

- V.A** LES INCINÉRATEURS DE DÉCHETS
- (i) DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, DÉCHETS DANGEREUX ET DE BOUES D'ÉPURATION
 - (ii) DECHET MEDICAUX
- V.B** LE BRULAGE DE DÉCHETS DANGEREUX DANS LES FOURS A CIMENT
- V.C** LA PRODUCTION DE PÂTE À PAPIER UTILISANT LE CHLORE ÉLÉMENTAIRE, OU DES SUBSTANCES CHIMIQUES GÉNÉRANT DU CHLORE ÉLÉMENTAIRE
- V.D** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
- (i) PRODUCTION DU CUIVRE SECONDAIRE
 - (ii) USINES DE FRITTAGE DANS L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER
 - (iii) PRODUCTION D'ALUMINIUM SECONDAIRE
 - (iv) PRODUCTION DU ZINC SECONDAIRE

SECTION VI: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DES SOURCES: CATÉGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

- VI.A** LA COMBUSTION À CIEL OUVERT DE DÉCHETS, Y COMPRIS DANS LES DÉCHARGES
- VI.B** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE AUTRES QUE CEUX MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE C PARTIE II
- (i) PRODUCTION DU PLOMB SECONDAIRE
 - (ii) PRODUCTION D'ALUMINIUM PRIMAIRE
 - (iii) PRODUCTION DE MAGNESIUM
 - (iv) PRODUCTION D'ACIER SECONDAIRE
 - (v) PREMIERE FUSION DES METAUX DE BASE

VI.C	LES SOURCES DE COMBUSTION RÉSIDENTIELLES
VI.D	LA COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES DANS DES CHAUDIÈRES DE CENTRALES ET LES CHAUDIÈRES INDUSTRIELLES
VI.E	LES INSTALLATIONS DE BRÛLAGE DE BOIS ET DE COMBUSTIBLES ISSUS DE LA BIOMASSE
VI.F	LES PROCÉDÉS SPÉCIFIQUES DE PRODUCTION DE SUBSTANCES CHIMIQUES ENTRAÎNANT DES REJETS DE SUBSTANCES INSCRITES À L'ANNEXE C
VI.G	LES FOURS CRÉMATOIRES
VI.H	LES VÉHICULES À MOTEUR, NOTAMMENT CEUX UTILISANT DE L'ESSENCE AU PLOMB
VI.I	LA DESTRUCTION DE CARCASSES D'ANIMAUX
VI.J	LA TEINTURE DE TEXTILES OU DU CUIR (AU CHLORANILE) ET LA FINITION (EXTRACTION ALCALINE)
VI.K	LES INSTALLATIONS DE BROUAGE DES ÉPAVES DE VÉHICULES
VI.L	LE CHAUFFAGE LENT DE CÂBLES EN CUIVRE
VI.M	LES RAFFINERIES D'HUILES USÉES

Section VI.B

Directives/conseils par catégorie des sources:
Catégories des sources dans la Partie III de l'Annexe C

**Partie III Catégorie de source (b):
Les procédés thermiques dans l'industrie métallurgique autres
que ceux mentionnés dans l'Annexe C, Partie II**

T A B L E D E S M A T I È R E S

VI.B Les procédés thermiques dans l'industrie métallurgique autres que ceux mentionnés dans l'Annexe C, Partie II	11
(i) Production de plomb secondaire	11
1. Description de procédé.....	11
2. Sources des produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm	13
2.1 Information générale sur les émissions des fonderies de plomb secondaire	13
2.2 Emissions de PCDD/PCDF dans l'air	14
2.3 Rejets vers d'autres milieux	14
3. Procédés recommandés	15
4. Mesures primaires et secondaires	15
4.1 Mesures primaires	15
4.2 Mesures secondaires	16
5. Recherche récente	17
6. Résumé des mesures	19
7. Niveaux de performance associée aux meilleures techniques disponibles	22
Références	22
(ii) Production d'aluminium primaire	23
1. Description du procédé	23
1.1 Le procédé Bayer: raffinage de la bauxite en alumine	23
1.2 Le procédé Hall-Héroult: réduction par électrolyse de l'alumine en aluminium.....	24
1.3 Production d'aluminium	24
2. Sources des produits chimiques listés en Annexe C de la Convention de Stockholm	26
2.1 Emissions de PCDD/PCDF	26
2.2 Rejets dans le sol.....	27
2.3 Résultats intéressants de recherche	27
2.4 Information générale sur les rejets issus des usines de production d'aluminium primaire	27
3. Procédés alternatifs pour la production d'aluminium de première fusion (nouvelles technologies).....	29

4.	Mesures primaires et secondaires	30
4.1	Mesures primaires	31
4.2	Mesures secondaires	32
5.	Résumé des mesures	33
6.	Niveau de performance associé aux meilleures techniques disponibles	35
	Références	35
(iii)	Production de magnésium	37
1.	Description de procédé.....	37
1.1	Production de magnésium à partir de sources d'oxyde de magnésium ..	37
1.2	Le procédé Pidgeon (procédé par réduction thermique)	38
1.3	Procédés divers, et considérations	39
2.	Sources des produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm	40
2.1	Emissions vers l'air	40
2.2	Rejets vers d'autres milieux	42
3.	Procédés alternatifs pour la production de magnésium.....	44
3.1	Procédé de déshydratation de Norsk Hydro.....	44
3.2	Récupération du magnésium à partir des schlamms d'amiante chez Noranda.....	45
3.3	Traitement thermique et récupération du magnésium à partir de ferrailles	46
4.	Mesures primaires et secondaires	46
4.1	Mesures primaires	46
4.2	Mesures secondaires	46
5.	Recherche récente.....	47
6.	Résumé des mesures	48
7.	Niveaux de performances associées aux meilleures techniques disponibles pour les HCB des procédés de production de magnésium	49
	Références	49
(iv)	Production d'acier secondaire	50
1.	Description de procédé.....	50
1.1	Description générale de procédé	50
1.2	Charge du four	52
1.3	Le four à arc électrique	52

2.	Sources de produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm	54
2.1	Emissions	54
2.2	Rejets de PCDD/PCDF par les déchets solides et les eaux usées	60
3.	Améliorations du procédé par four à arc électrique, et procédés alternatifs pour la fabrication d'acier au four électrique	61
3.1	Améliorations du procédé	61
3.2	Procédés alternatifs	62
4.	Mesures primaires et secondaires	62
4.1	Mesures primaires pour les émissions	62
4.2	Mesures secondaires pour les émissions	64
4.3	Mesures primaires et secondaires pour les déchets solides et les eaux usées	65
5.	Résumé des mesures	66
6.	Niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles	73
	Références	73
(v)	Première fusion des métaux de base	75
1.	Description de procédé	76
2.	Sources des produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm	77
2.1	Rejet vers l'air	78
2.2	Rejet vers d'autres milieux	79
3.	Procédés alternatifs pour la fusion de métaux de base	79
4.	Mesures primaires et secondaires	80
4.1	Mesures primaires	80
4.2	Mesures secondaires	82
5.	Recherche récente	84
6.	Résumé des mesures	85
7.	Niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles	91
	Références	91
	Autres sources	91

Tableaux

Tableau 1.	Mesures pour les nouvelles fonderies de plomb secondaire	19
------------	--	----

Tableau 2.	Résumé des mesures primaires et secondaires pour les fonderies de plomb secondaire	20
Tableau 3.	Emissions, effluents, sous-produits et déchets solides venant de la production d'aluminium primaire.....	29
Tableau 4.	Mesures pour les nouvelles usines de production d'aluminium primaire...	33
Tableau 5.	Résumé des mesures primaires et secondaires pour les usines de production d'aluminium primaire	34
Tableau 6.	Emissions dans l'air de différents procédés de production du magnésium	42
Tableau 7.	Emissions de PCDD/PCDF par source: Hydro Magnesium Canada	42
Tableau 8.	Rejets de PCDD/PCDF dans l'eau, issus de différents procédés de production du magnésium.....	43
Tableau 9.	Facteurs d'émissions dans l'industrie du magnésium: PCDD/PCDF	43
Tableau 10.	Facteurs d'émission dans l'industrie du magnésium: Hexachlorobenzène (HCB)	44
Tableau 11.	Résumé des mesures primaires pour les usines de magnésium	48
Tableau 12.	Résumé des mesures secondaires pour les usines de magnésium.....	48
Tableau 13.	Mesures pour les nouveaux fours à arc électrique.....	67
Tableau 14.	Mesures pour des fours à arc électrique nouveaux et existants	68
Tableau 15.	Mesures pour de nouvelles opérations de fusion primaires de métaux de base	85
Tableau 16.	Résumé des mesures primaires et secondaires pour les opérations de première fusion des métaux de base	86

Liste de figures

Figure 1.	Fusion du plomb secondaire	13
Figure 2.	Schéma simplifié du cycle de production d'alumine.....	24
Figure 3.	Schéma général du procédé électrolytique pour la production d'aluminium	26
Figure 4.	Schéma du procédé de la fabrication de magnésium à partir d'oxyde de magnésium.....	38
Figure 5.	Schéma du cycle de procédé: usine de magnésium de Timmines.....	39
Figure 6.	Schéma simplifié: usine de magnésium du type Cogburn	47
Figure 7.	Dispositif anti-pollution d'un four à arc électrique générique.....	53
Figure 8.	Diagramme schématique de la première fusion des métaux de base	77

VI.B Les procédés thermiques dans l'industrie métallurgique autres que ceux mentionnés dans l'Annexe C, Partie II

(i) Production de plomb secondaire

■ Résumé

La fusion du plomb secondaire concerne la production de plomb et d'alliages de plomb, provenant principalement des batteries automobiles usagées et d'autres sources de plomb usagé (tuyaux, soudures, crasses, feuilles de plomb). Les procédés de production comprennent le prétraitement des déchets, la fusion, puis l'affinage. Des combustions incomplètes, des teneurs élevées en huile, des plastiques et autres matériaux organiques dans les matières d'apport, comme des températures insuffisamment élevées entre 250 et 500°C, peuvent mener à la production des produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm.

Les meilleures techniques disponibles comprennent l'emploi de matières sans plastiques, ni huiles, des températures de traitement supérieures à 850°C, une collecte efficace des gaz, des post brûleurs plus une trempe rapide, une adsorption sur charbon actif et des filtres à poussières en tissu.

Les niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles pour les fonderies de plomb secondaire sont $<0,1\text{ng I-TEQ/Nm}^3$ (à des concentrations opérationnelles pour l'oxygène).

1. Description de procédé

Le résumé qui suit est extrait de: EPA 1986. La Figure 1 résume le procédé sous forme schématique.

«Les fonderies de plomb secondaires produisent du plomb et ses alliages à partir de ferrailles contenant du plomb. Plus de 60% du plomb recyclé provient des batteries d'automobiles. Les autres sources sont principalement des masses d'équilibrage de roues, des tuyaux, des soudures, des crasses et des feuillards.

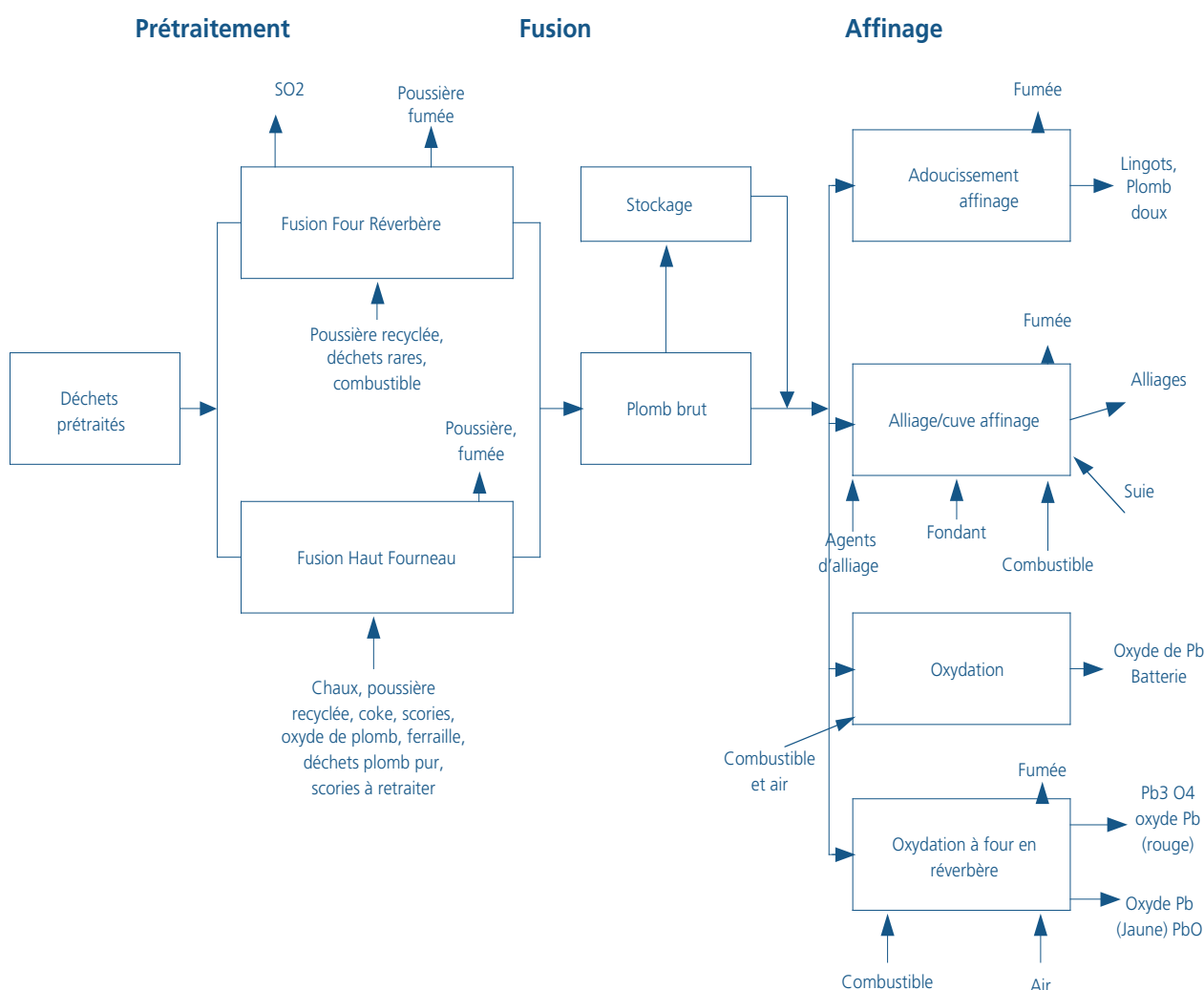
La fonderie de plomb secondaire se décompose en trois étapes principales: le prétraitement des déchets, la fusion et l'affinage. Le prétraitement consiste à retirer partiellement les contaminants métalliques et non-métalliques présents dans les déchets et les résidus. Les étapes de prétraitement de ces matériaux incluent la casse des batteries, leur broyage et l'élimination des liquides; ces opérations sont suivies d'une séparation manuelle du plomb et des matières non

métalliques. Ce déchet de plomb trié est alors passé dans un four à réverbère ou dans un four rotatif, à chauffage au gaz ou au fioul, pour séparer le plomb des métaux à plus haut point d'ébullition. Des fours rotatifs sont généralement utilisés pour traiter les déchets et résidus à faible teneur en plomb, alors qu'on emploie les fours à réverbère pour les lots riches en plomb. Le plomb partiellement purifié est régulièrement extrait de ces fours pour la suite du cycle, dans des fours de fusion ou dans des fours à creuset.

La fusion donne du plomb, tout en le séparant le plomb des contaminants métalliques ou non métalliques, et en réduisant les oxydes en plomb brut. Cette fusion est effectuée dans des hauts fourneaux, dans des fours à réverbère et dans des fours rotatifs. Dans les hauts fourneaux on charge: des ferrailles déjà prétraitées, des scories à retraiter, des crasses recyclées, des poussières et de la chaux. La chaleur nécessaire pour fondre le plomb est produite par la réaction du coke chargé et de l'air insufflé dans le four. Une partie du coke brûle et fait fondre la charge, alors que le reste réduit les oxydes en plomb de base. Lorsque la charge fond, la chaux et le fer flottent à la surface du bain et forment un fondant qui retarde l'oxydation du plomb. Le plomb fondu coule alors dans une cuve à un débit presque constant.

L'affinage et la coulée du plomb brut depuis le four de fusion impliquent des étapes de ramollissement du plomb, de mise en alliage et d'une oxydation, suivant le degré de pureté ou du type d'alliage souhaité. Ces opérations peuvent être faites dans des fours à réverbère, toutefois des fours du type à cuve sont le plus souvent employés. Dans les fours qui servent à réaliser les alliages, le plomb est fondu et mélangé aux éléments d'alliage: l'antimoine, l'étain, l'arsenic, le cuivre et le nickel sont les matières les plus courantes. Les fours d'oxydation, qu'il s'agisse de fours à cuve ou à réverbère, sont employés pour oxyder le plomb et entraîner les oxydes de plomb dans le courant d'air de la combustion pour qu'ils soient récupérés dans des filtres à manches efficaces».

■ **Figure 1. Fusion du plomb secondaire**



Source EPA 1986

2. Sources des produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm

La formation de produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm peut résulter de la présence de combustibles imbrûlés et de composés organiques réagissant avec des composés contenant du chlore, dans des zones de températures situées entre 250 et 450°C.

2.1 Information générale sur les émissions des fonderies de plomb secondaire

Les émissions dans l'air provenant des fours de fusion du plomb peuvent sortir par les cheminées, ou en tant qu'émissions fugitives, selon la vétusté de l'usine ou de la technologie employée. Les principaux contaminants sont le dioxyde de soufre (SO₂), d'autres composés de soufre et de vapeurs acides, des oxydes d'azote (NO_x), des métaux (principalement du plomb) et leurs composés, des poussières et des traces de dibenzo-

p-dioxines polychlorées (PCDD) et de dibenzofuranes polychlorés (PCDF). Le SO₂ est capté et transformé en acide sulfurique dans les usines produisant des acides. Les émissions fugitives de SO₂ peuvent être contrôlées grâce à une bonne extraction et des fours fermés. Les NO_x peuvent être réduits en utilisant des brûleurs à faible émission de NO_x ou à oxy-fuel. Les particules fines sont captées grâce à des techniques haute efficacité comme les filtres en tissu, puis recyclées dans le cycle de production. (European Commission 2001, p.359-368).

2.2 Emissions de PCDD/PCDF dans l'air

Les PCDD/PCDF sont formés pendant la fusion des métaux de base, par une réaction de produits de combustion incomplète, de contaminants organiques et chlorés imbrûlés, normalement par une synthèse *de novo* dans la zone de refroidissement du four, à des températures situées entre 250 et 450°C.

Le procédé est décrit dans European Commission 2001, p.133.

«Les PCDD/PCDF ou leurs précurseurs peuvent être présents dans quelques matières premières et il y a une possibilité de synthèse *de novo* dans les fours ou dans les systèmes de réduction. Les PCDD/PCDF sont adsorbés facilement sur les matières solides et peuvent être captés par tout milieu environnemental tel que la poussière, les solides issus des épurateurs, et les poussières des filtres.

La présence d'huiles et d'autres matières organiques dans les ferrailles, ou d'autres sources de carbone (combustibles partiellement brûlés, réducteurs comme le coke) peuvent produire de fines particules de carbone qui réagissent avec les chlorures inorganiques ou avec le chlore lié à des composés organiques, dans une fourchette de température située entre 250 et 500°C, produisant alors des PCDD/PCDF. Cette réaction est appelée «synthèse *de novo*» et est catalysée par la présence de métaux comme le cuivre ou le fer.

Bien que les PCDD/PCDF soient détruits à haute température (au dessus de 850°C) en présence d'oxygène, la synthèse *de novo* est encore possible lorsque les gaz sont refroidis pendant leur passage à travers la «fenêtre de reformation». Cette fenêtre peut être présente dans les systèmes de réduction de la pollution, et dans les zones plus froides d'un four, par exemple, dans la zone de chargement. Le soin apporté à la conception des systèmes de refroidissement pour limiter les temps de passage dans cette fenêtre sera déterminant pour empêcher la synthèse *de novo*.»

2.3 Rejets vers d'autres milieux

L'utilisation de systèmes de lavage à voie humide peut conduire à la production d'effluents liquides et de résidus solides susceptibles de contenir des substances listés en Annexe C. Les particules extraites à sec contiendront des substances listées à l'Annexe C. Toutes devront être traitées ou éliminées de manière appropriée.

3. Procédés recommandés

Des variations dans les matières à traiter et la qualité du produit à obtenir influencent la configuration et la conception du procédé. Ces procédés devraient être appliqués en combinaison avec un bon contrôle du procédé, une collecte des gaz et des systèmes de réduction de la pollution. Les procédés considérés comme les meilleures techniques disponibles comprennent les hauts fourneaux (avec un bon système de contrôle), le four ISA Smelt/Ausmelt, le four rotatif à soufflage par le haut, le four électrique et le four rotatif (European Commission 2001, p.379).

Le four à arc électrique immergé est un four étanche utilisé pour les matériaux mixtes à base de cuivre et de plomb. Il est plus propre que les autres procédés pour autant que son système d'extraction des gaz soit bien conçu et bien dimensionné (European Commission 2001, p.395).

«L'injection de matière fine par les tuyères du haut fourneau a été employée avec succès, et permet de réduire les manipulations de matériaux poussiéreux, ainsi que l'énergie nécessaire pour renvoyer les fines dans des usines de frittage». (European Commission 2001, p.404).

Cette technique réduit les émissions de poussière au cours du chargement et réduit donc les rejets de PCDD/PCDF, par adsorption sur les matières en particules fines.

Il n'y a pas d'information disponible sur des procédés alternatifs relatifs aux fonderies de plomb secondaire.

4. Mesures primaires et secondaires

Les mesures primaires et secondaires de réduction et d'élimination des PCDD/PCDF sont présentées ci-dessous.

4.1 Mesures primaires

Ces mesures sont considérées comme des mesures de prévention pour réduire ou éviter la génération et le rejet de polluant organiques persistants. Les mesures possibles comprennent:

4.1.1 Tri préalable des matières rentrantes

Les déchets devraient être triés et prétraités pour retirer les composés organiques et les plastiques, afin de réduire les possibilités de formation de PCDD/PCDF, en raison de combustion incomplète ou en raison de synthèse *de novo*. Il faut éviter de charger des batteries telles quelles ou ayant été mal séparées. Le stockage des matières à charger, la manutention et les techniques de prétraitement seront déterminées selon les dimensions, la nature des produits et leur niveau de contamination et de métal contenu.

Le concassage et le broyage, en association avec des techniques de séparation par densité ou pneumatiques, peuvent être employés pour retirer les plastiques. On peut

retirer l'huile avec des techniques thermiques ou de déshuilage pour enlever les revêtements. Ces dernières opérations pour éliminer l'huile devraient être suivies par une post-combustion détruisant toute matière organique dans les gaz produits (European Commission 2001, p.232).

4.1.2 Contrôle efficace du procédé

Des systèmes de contrôle de procédés devraient être utilisés pour maintenir la stabilité du procédé et pour travailler à des niveaux de paramètres qui contribueront à la diminution de la génération des PCDD/PCDF, en maintenant la température des fours au dessus de 850°C pour détruire les PCDD/PCDF. Idéalement, les émissions de PCDD/PCDF devraient être contrôlées en continu pour assurer la réduction des rejets. Un échantillonnage en continu des émissions de PCDD/PCDF a été expérimenté dans quelques secteurs (par ex. incinérateurs de déchets) mais la recherche continue à ce sujet. En l'absence d'un tel contrôle en continu, d'autres variables comme la température, le temps de résidence, la composition des gaz et le contrôle des fumées captées devraient être contrôlées et maintenues afin d'établir des conditions opératoires optimales visant à réduire les PCDD/PCDF. Comme les installations diffèrent énormément, ces variables à suivre demanderaient à être fixées sur des bases spécifiques pour le site en question.

«Il faut faire particulièrement attention à la mesure et au contrôle de la température des fours et des cuves utilisés pour la fusion des métaux dans ce groupe, de telle manière à réduire ou à éviter la formation de fumées» (European Commission 2001, p.390).

4.2 Mesures secondaires

Les mesures secondaires sont des techniques de contrôle de pollution visant à contenir et à prévenir les émissions. Ces méthodes n'empêchent pas la formation des contaminants.

4.2.1 Captage des gaz et fumées

Le captage des fumées et des gaz émis devrait exister à tous les stades du procédé de fusion, afin de contrôler les émissions de PCDD/PCDF.

«Les systèmes de captage des fumées utilisés peuvent exploiter des systèmes de fours fermés et être conçus pour maintenir une dépression telle qu'on évite les fuites et les émissions fugitives. Il est possible d'utiliser des systèmes qui confinent le four, ou bien mettre en place des hottes. Des exemples sont l'introduction de la charge par les hottes, des additions par des tuyères ou des lances, ou encore l'usage de vannes d'alimentation rotative robustes. Un système de captage (efficace) des fumées capable de les aspirer à la source, et aussi pendant leur émission, consommera moins d'énergie. Les meilleures techniques disponibles pour les systèmes de traitement des gaz et des fumées sont celles qui utilisent un refroidissement et une récupération de la chaleur, si cela est possible, en amont des filtres en tissu, excepté dans le cas où on fait appel à un

procédé de fabrication d'acide sulfurique» (European Commission 2001, p.397).

4.2.2 Dépoussiérage haute efficacité

Les poussières et les composés de métaux générés par le procédé de fusion devraient être extraits. Ces particules fines ont une grande surface spécifique sur laquelle les PCDD/PCDF sont adsorbés facilement. L'extraction de ces poussières contribuera à la réduction des émissions de PCDD/PCDF. Les techniques à envisager sont l'emploi de filtres en tissu, d'épurateurs secs, ou par voie humide, et de filtres en céramique. Les particules fines collectées devraient être recyclées dans le four.

Les filtres en tissu réalisés avec des matériaux haute performance sont l'option la plus efficace. Des innovations relatives à cette méthode comprennent des systèmes de détection de crevaisson des sacs, des méthodes de nettoyage en ligne, et des revêtements catalytiques pour détruire les PCDD/PCDF (European Commission 2001, p.139-140).

4.2.3 Post brûleurs et trempe

Les post brûleurs (post combustion) devraient fonctionner à une température minimale de 950°C pour assurer une combustion complète des composés organiques (Hübner *et al.* 2000). Cette étape doit être suivie d'une trempe rapide des gaz à une température inférieure à 250°C. Une injection d'oxygène dans la zone supérieure du four facilitera la combustion totale. (European Commission 2001, p.189).

On a observé que les PCDD/PCDF sont formés à des températures se situant entre 250 et 500°C. Ces derniers sont détruits au dessus de 850°C en présence d'oxygène. Cependant, une synthèse *de novo* est encore possible lorsque les gaz sont refroidis dans la «fenêtre de reformation» située dans les systèmes de réduction, et dans les zones plus froides du four. Il faut assurer un fonctionnement correct des systèmes de refroidissement pour minimiser le temps de séjour dans la fenêtre de reformation. (European Commission 2001, p.133).

4.2.4 Adsorption sur charbon actif

Le traitement par charbon actif devrait être envisagé pour supprimer les PCDD/PCDF contenus dans les gaz émis. Le charbon actif possède une grande surface spécifique sur laquelle les PCDD/PCDF sont adsorbés. Les gaz émis peuvent être traités par charbon actif en utilisant des réacteurs à lit fixe ou mobile, ou par injection de fines particules de carbone dans le flot de gaz, suivie d'une filtration dans un système de dépoussiérage haute efficacité comme les filtres en tissu.

5. Recherche récente

L'oxydation catalytique est une technique récente employée dans des incinérateurs de déchets pour réduire les émissions de PCDD/PCDF. Ce procédé devrait être envisagé par les fonderies de métaux de base secondaires car son efficacité a été démontrée pour la

destruction des PCDD/PCDF dans les incinérateurs de déchets. L'oxydation catalytique, selon le choix du catalyseur, est susceptible d'être empoisonnée par des traces de métaux et d'autres contaminants dans les gaz. Un travail de validation devrait être réalisé avant d'utiliser ce procédé.

Les procédés d'oxydation catalytique transforment les composés organiques en eau, en dioxyde de carbone (CO₂) et en acide chlorhydrique, en utilisant un catalyseur de métal précieux qui accélère la vitesse de réaction entre 370 et 450°C. En comparaison, l'incinération a lieu typiquement à 980°C. Il a été prouvé que l'oxydation catalytique détruit les PCDD/PCDF avec des temps de résidence plus courts, une plus faible consommation d'énergie et un rendement de 99%; cette technique devrait donc être sérieusement envisagée. Les gaz émis devraient être traités pour l'extraction des particules fines avant de passer à l'étape d'oxydation catalytique, pour une efficacité optimale. Cette méthode est efficace pour le traitement en phase vapeur des contaminants. L'acide chlorhydrique qui en résulte est traité dans un épurateur, tandis que l'eau et le CO₂ sont relâchés dans l'air après refroidissement. (Parvesse 2001)

6. Résumé des mesures

Les Tableaux 1 et 2 résument les mesures présentées dans les sections précédentes.

■ **Tableau 1. Mesures pour les nouvelles fonderies de plomb secondaire**

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Procédés recommandés	Divers procédés devraient être considérés pour les nouvelles fonderies	Les procédés à considérer incluent: <ul style="list-style-type: none">• 1. Hauts fourneaux (avec un bon contrôle de procédé), four ISA Smelt/Ausmelt, four rotatif à soufflage par le haut, four électrique et four rotatif• Four à arc électrique immergé (c'est un four étanche pour matériaux mixtes cuivre-plomb, plus propre que d'autres procédés si les systèmes d'extraction des gaz sont bien conçus et bien dimensionnés)• L'injection des fines par les tuyères d'un haut fourneau réduit les manipulations nécessaires pour les poussières	Ces procédés devraient être appliqués en combinaison avec un bon système de contrôle, captation des gaz et systèmes de réduction de pollution

■ **Tableau 2. Résumé des mesures primaires et secondaires pour les fonderies de plomb secondaire**

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Mesures primaires			
Tri préalable des matières chargées	<p>Les déchets devraient être triés et prétraités pour retirer les composés organiques et les plastiques, afin de réduire la formation de PCDD/PCDF par une combustion incomplète ou de synthèse <i>de novo</i></p> <p>Les batteries devraient être broyées avant d'être chargées dans le four, les plastiques et matières sans plomb devraient être retirées</p>	<p>Les procédés à considérer incluent:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eviter de charger des batteries telles quelles, ou mal séparées • Broyage et concassage suivis d'une séparation pneumatique ou par densité, pour retirer les plastiques • Huile enlevée par voie thermique ou par procédé de déshuilage 	<p>Enlever les revêtements et faire un déshuilage, puis effectuer une post-combustion pour détruire toute matière organique dans les gaz émis</p>
Procédé efficace de contrôle	<p>Des systèmes de contrôle des procédés devraient être utilisés pour maintenir la stabilité du procédé à des niveaux de paramètres contribuant à la réduction de la génération des PCDD/PCDF</p>	<p>On peut diminuer les émissions de PCDD/PCDF en contrôlant les variables: température, temps de résidence, composition des gaz, ouverture des clapets pour le captage des fumées, après avoir établi les conditions opératoires optimales pour réduire les PCDD/PCDF</p>	<p>L'échantillonnage en continu des PCDD/PCDF a été démontré pour quelques secteurs (incinérateurs de déchets), mais la recherche est toujours en cours.</p> <p>Il faut faire attention en particulier aux mesures de température et aux contrôles pour les fours et les cuves de fusion des métaux de ce groupe, afin de prévenir au mieux la formation des fumées</p>

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Mesures secondaires			
Captage des gaz et fumées	Ce captage devrait être mis en place à tous les stades de la production pour réduire les émissions de PCDD/PCDF.	Les procédés à considérer incluent: <ul style="list-style-type: none"> • Systèmes de confinement pour les fours afin de maintenir un vide, évitant les fuites ou les émissions fugitives • Utilisation de hottes • Addition des matières par des hottes, par des tuyères ou par des lances, l'emploi de robustes valves rotatives sur les systèmes de chargement 	Les meilleures techniques pour les systèmes de traitement des gaz et des fumées sont celles qui utilisent un refroidissement, et la récupération de la chaleur, si cela est possible, en amont des filtres en tissu
Dépoussiérage à haut rendement	Les poussières et les composés métalliques devraient être séparés, car ces matières ont une grande surface spécifique sur laquelle les PCDD/PCDF peuvent être adsorbés. En retirant les poussières on contribuera à la réduction des émissions de PCDD/PCDF.	Les procédés à considérer sont: <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de filtres en tissu, épurateurs à sec et à voie humide, et filtres en céramique 	Les filtres en tissu utilisant des matières à haute performance sont l'option la plus efficace. Les particules collectées doivent être recyclées dans le four.
Post combustion et trempe	Les post brûleurs devraient fonctionner à >950°C pour assurer la combustion totale des composés organiques, suivi d'une trempe rapide des gaz chauds, en dessous de 250°C	Les considérations incluent: <ul style="list-style-type: none"> • Formation des PCDD/PCDF entre 250 et 500°C et destruction >850°C avec O₂ • Nécessité d'oxygène suffisant dans la zone supérieure du four pour une combustion complète • Bonne conception nécessaire des systèmes de refroidissement pour réduire le temps de reformation 	Une synthèse <i>de novo</i> est encore possible lorsque les gaz se refroidissent à travers la fenêtre de reformation

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Adsorption sur charbon actif	Le traitement par charbon actif devrait être considéré car il a une grande surface spécifique et est un milieu idéal pour l'adsorption des PCDD/PCDF	<p>Procédés à envisager:</p> <p>Traitement par charbon actif en utilisant des réacteurs à lit fixe ou mobile</p> <p>Injection de particules fines dans le flot des gaz, suivi d'une extraction par filtre à poussière</p>	Des mélanges chaux/carbone peuvent aussi être utilisés.

Recherche récente

Oxydation catalytique	L'oxydation catalytique est une technologie émergente qui devrait être considérée à cause de son haut rendement et de sa faible consommation d'énergie. L'oxydation catalytique transforme les composés organiques en eau, en CO ₂ , et en acide chlorhydrique par l'emploi d'un métal précieux comme catalyseur	<p>Les considérations comprennent:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Efficacité du procédé pour la phase vapeur des contaminants • Traitement à l'acide chlorhydrique à l'aide d'épurateurs, tandis que l'eau et le CO₂ sont relâchés dans l'air après refroidissement 	<p>Il a été prouvé que l'oxydation catalytique détruit les PCDD/PCDF avec des temps de résidence plus courts, une consommation plus faible d'énergie et un rendement à 99%</p> <p>Pour un rendement maximal, les gaz devraient être dépoussiérés avant l'oxydation catalytique</p>
-----------------------	---	--	--

7. Niveaux de performance associée aux meilleures techniques disponibles

Les niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles relatives pour les émissions de PCDD/PCDF venant des fonderies de plomb secondaire sont <0,1ng I-TEQ/Nm³ (à des concentrations opératoires normales d'oxygène).

Références

EPA (United States Environmental Protection Agency). 1986. *Secondary Lead Processing*. Background Report AP-42, Section 12.11. www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s11.pdf.

European Commission. 2001. *Reference Document on Best Available Techniques in the Non-Ferrous Metals Industries*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es.

Hübner C., Boos R., Bohlmann J., Burtscher K. and Wiesenberger H. 2000. *State-of-the-Art Measures for Dioxin Reduction in Austria*. Vienna. www.ubavie.gv.at/publikationen/Mono/M116s.htm.

Parvesse T. 2001. «Controlling Emissions from Halogenated Solvents.» *Chemical Processing* 64(4):48–51.

(ii) Production d'aluminium primaire

■ Résumé

L'aluminium primaire est produit directement à partir du minerai, la bauxite. La bauxite est affinée en alumine par le procédé Bayer. L'alumine est réduite en aluminium métal par électrolyse, par le procédé Hall-Héroult (en utilisant soit des anodes à auto-cuisson – des anodes Söderberg – ou des anodes précuites).

On ne pense pas que la production d'aluminium primaire soit normalement une source significative de substances listées à l'Annexe C de la Convention de Stockholm. Cependant, une contamination par les PCDD/PCDF est possible à cause des électrodes en graphite utilisées dans le procédé de fusion électrolytique.

Les techniques disponibles pour réduire la production et le rejet de substances inscrites à l'Annexe C, dans la production de l'aluminium primaire, comprennent des améliorations au niveau de la production et du contrôle des anodes, ainsi que l'utilisation de procédés de fusion avancés. Les niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles pour les émissions dans l'air des PCDD/PCDF dans le secteur de l'aluminium primaire, sont $<0,1\text{ng I-TEQ/Nm}^3$ (à des concentrations opératoires d'oxygène).

1. Description du procédé

La production de l'aluminium primaire concerne l'aluminium produit directement à partir du minerai, la bauxite. Celle-ci est transformée en alumine par le procédé Bayer, puis l'alumine est réduite par électrolyse (procédé Hall-Héroult) en aluminium métal. Cette section ne concerne pas le procédé d'aluminium secondaire qui est traité dans la section V.D (III) du présent guide.

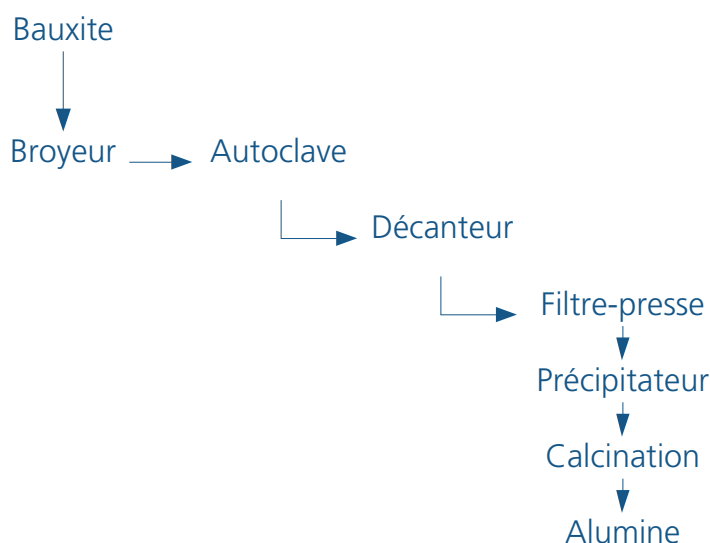
1.1 Le procédé Bayer: raffinage de la bauxite en alumine

La bauxite est convertie en alumine selon le procédé Bayer (Figure 2). Le minerai de bauxite est séché, broyé et amené à une forme de poudre, puis mélangé à une solution de soude caustique pour extraire l'alumine dans des digesteurs à des températures élevées et sous forte pression. Une boue est produite qui contient de l'aluminate de sodium dissout, et un mélange d'oxydes métalliques, dites boues rouges, qui sont séparées dans des épaisseurs. Cette boue rouge est lavée pour récupérer les produits chimiques, puis éliminée. La solution d'aluminate est refroidie etensemencée avec de l'alumine pour cristalliser l'alumine hydratée dans des bacs de précipitation. Les cristaux sont lavés puis calcinés dans des fours rotatifs ou dans des fours de calcination à lit fluidisé ou à fluide flash, pour produire de l'oxyde d'aluminium ou de l'alumine, qui est une poudre blanche qui ressemble à du sel de cuisine.

1.2 Le procédé Hall-Héroult: réduction par électrolyse de l'alumine en aluminium

L'aluminium est fabriqué à partir d'alumine, par électrolyse, par un procédé nommé Hall-Héroult. L'alumine est dissoute dans un bain électrolytique de cryolithe fondue (fluorure de sodium/aluminium). On applique un courant électrique qui passe dans l'électrolyte entre l'anode et la cathode. De l'aluminium liquide est alors produit qui se dépose au fond de la cuve électrolytique et qui est siphonné périodiquement et transféré dans un four d'attente à réverbère. Là, il est allié, avec ajout de fondants, et dégazé pour enlever les traces d'impuretés. L'aluminium est finalement coulé ou transporté dans les usines de fabrication.

■ Figure 2. Schéma simplifié du cycle de production d'alumine



Source: Aluminium Association of Canada

1.3 Production d'aluminium

Il existe deux types de techniques pour produire de l'aluminium (Fig.3): celles utilisant des anodes à auto-cuisson (anodes Söderberg) et celles qui emploient des anodes précuites.

Les anodes Söderberg, plus anciennes, sont fabriquées *in situ* à partir d'une pâte de coke de pétrole calcinée et de goudron, qui sont cuits par la chaleur provenant du bain électrolytique en fusion. Au fur et à mesure que l'anode est consommée, cette pâte descend le long du caisson à anode et il n'y a donc pas la nécessité de changer d'anode. On ajoute de l'alumine périodiquement par les trous des cellules Söderberg, en cassant la croûte d'alumine et d'électrolyte solidifiée qui recouvre le bain en fusion. Selon la manière de placer les goujons d'anode, on parle de cellules, ou pots, Söderberg à goujon vertical ou à goujon horizontal. Des systèmes automatiques d'approvisionnement pour le chargement sont utilisés dans des usines modernes, éliminant l'opération qui consiste à casser la croûte supérieure du bain.

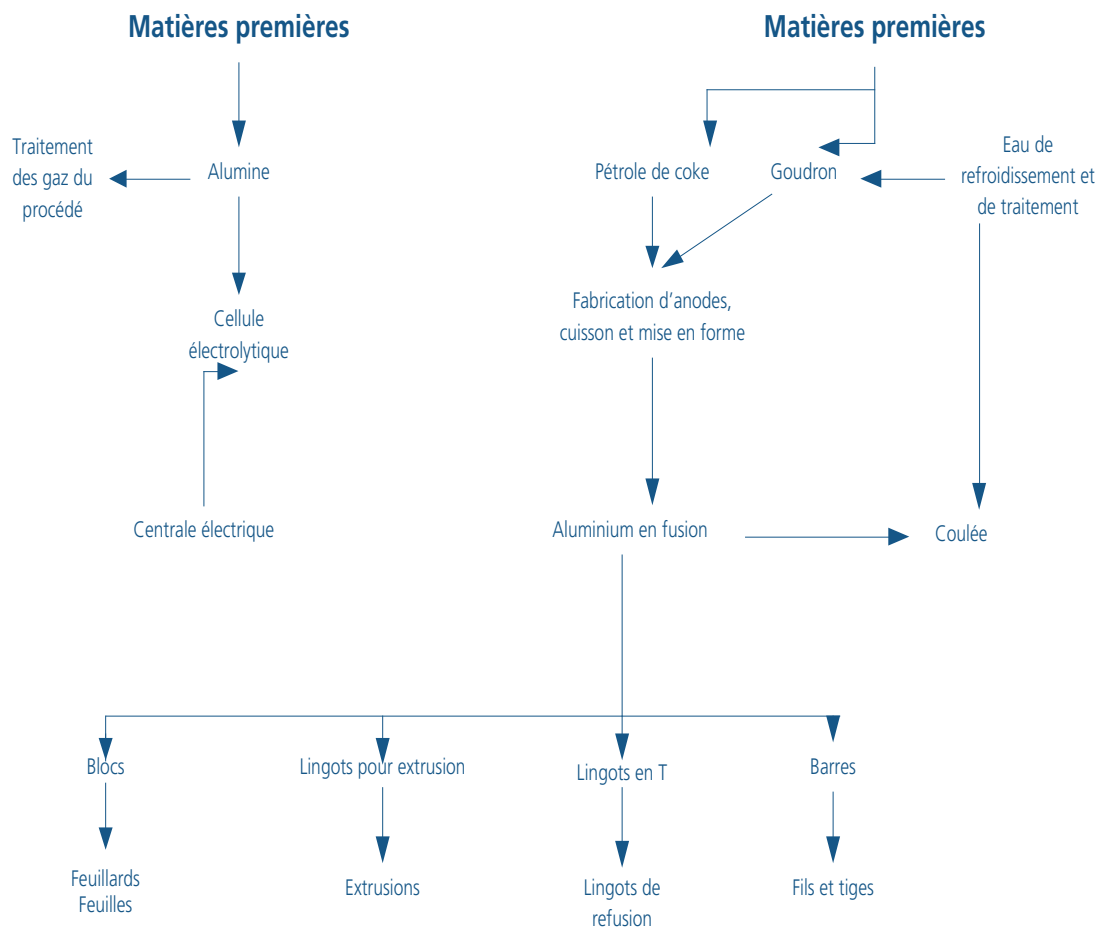
Les anodes précuites sont fabriquées dans une usine à carbone, à partir de coke de pétrole calcinée et de goudron de charbon, qui sont formés en blocs, puis cuits dans un

four à anode. Les usines de production d'anodes précuites font souvent partie intégrante des usines de production d'aluminium primaire. Les anodes précuites sont graduellement abaissées dans les cuves, au fur et à mesure de leur consommation, et doivent être remplacées avant qu'elles ne soient totalement consommées. Leurs résidus, appelés «mégots», sont nettoyés et renvoyés dans les usines à carbone pour être recyclés. Selon la méthode d'approvisionnement de l'alumine dans les cellules électrolytiques, on parle de cuves à anodes précuites à alimentation latérale, ou à alimentation longitudinale. Pour celles qui sont «latérales», l'alumine est chargée dans les cuves après que l'on ait cassé la croûte en périphérie. Pour les cuves «longitudinales», l'alumine est chargée après que la croûte ait été cassée le long de la ligne centrale, ou à des points choisis sur la ligne du centre de la cuve.

La cathode doit être typiquement remplacée tous les cinq à huit ans à cause d'endommagement qui peut permettre à l'électrolyte fondu et à l'aluminium de pénétrer dans le connecteur de la cathode et sa coque en acier. La cathode usagée, appelée «brasque», contient des produits dangereux et toxiques comme des cyanures et des fluorures, qui doivent être éliminés correctement.

L'aluminium fondu est régulièrement soutiré des cuves par siphonage et est versé dans des creusets. Ceux-ci, contenant l'aluminium liquide, sont transportés dans les fonderies, où l'aluminium est alors placé dans des fours d'attente. Les éléments nécessaires aux alliages sont ajoutés dans ces fours. Les scories («d'écumage») formées par l'oxydation de l'aluminium en fusion sont raclées et enlevées; des conteneurs fermés sont utilisés pour minimiser une oxydation possible de ces scories. Une mise sous argon ou azote est effectuée. Cette opération est suivie de l'enlèvement du sodium, du magnésium, du calcium et de l'hydrogène. La nature du gaz de traitement varie selon les impuretés. L'argon, ou l'azote, est utilisé pour retirer l'hydrogène; des mélanges de chlore avec de l'azote ou de l'argon sont utilisés pour retirer les impuretés métalliques.

■ **Figure 3. Schéma général du procédé électrolytique pour la production d'aluminium**



Source: Aluminium Association of Canada

2. Sources des produits chimiques listés en Annexe C de la Convention de Stockholm

Il est peu probable que la production d'aluminium primaire soit une source significative de PCDD et de PCDF, bien que des contaminations soient possibles par l'intermédiaire des électrodes en graphite (AEA Technology Environment 1999, p.63). On pense que les niveaux de rejets sont généralement bas et le plus grand intérêt concerne plutôt les procédés thermiques liés aux ferrailles. (UNEP 2003, p.73). Ceci est considéré plus loin, au paragraphe 2.3 ci-dessous.

2.1 Emissions de PCDD/PCDF

Il y a peu d'informations disponibles sur les produits chimiques de l'Annexe C de la Convention de Stockholm, y compris sur la formation des PCDD/PCDF dans les procédés de production d'aluminium de première fusion. Quelques textes suggèrent que des tests sur les émissions de PCDD/PCDF ne sont pas considérés comme significatifs pour ce secteur.

Il a été rapporté qu'il est peu probable que les procédés à anodes Söderberg et à anodes précuites rejettent des émissions notablement différentes, par tonne d'aluminium produite (AEA Technology Environment 1999, p.63). Des résultats de tests sur les sources d'émissions et sur les unités de réduction de la pollution, associées à la production des anodes précuites, indiquent que les émissions de PCDD ne sont pas significatives à partir de ces sources. Cependant, si des composés chlorés ou des additifs sont utilisés, les émissions devront être contrôlées (European Commission 2001, p.669)

Quelques études ont mesuré la présence éventuelle de PCDD dans les fumées issues de la coulée, car l'emploi du chlore pour un dégazage ainsi que la présence de carbone venant de la combustion des gaz, peuvent mener à la formation de PCDD. Les résultats concernant les unités de production d'aluminium primaire montrent que les rejets sont notablement inférieurs à 1 gramme par an (European Commission 2001, p.289). La possibilité de formation des PCDD/PCDF au cours des procédés d'affinage pour à la fois l'aluminium primaire et l'aluminium secondaire, n'a pas été totalement étudiée. Il a été recommandé que cette source soit quantifiée (European Commission 2001, p.318)

2.2 Rejets dans le sol

On ne pense pas que la production d'aluminium primaire à partir de minerais mène à des quantités significatives de PCDD/PCDF (New Zealand Ministry for the Environment 2000). Dans *The review of dioxin releases to land and water in the UK* on fait état de la possibilité que des électrodes en graphite pourraient apporter quelques contaminations en PCDD/PCDF (UK Environment Agency 1997). Des données suédoises suggèrent que la boue résiduelle venant des cellules pourrait contenir 7,8 ng Nordic -TEQ kg⁻¹. Cependant, si la cathode est en carbone de haute pureté et que le procédé de réduction n'emploie ni chlore, ni chlorure, il est peu probable que des PCDD/PCDF soient présents.

Les parties fines des métaux de récupération peuvent contenir des PCDD/PCDF car on emploie du chlore ou des matières chlorées pour dégazer la fraction d'aluminium qui est coulée en forme de billettes destinées à l'extrusion.

2.3 Résultats intéressants de recherche

Il y a peu d'information relative à la formation par inadvertance de PCDD/PCDF, dans ce secteur. Il a été suggéré que la production d'aluminium primaire n'est pas une source significative de rejets. Une publication indique que les niveaux d'émissions de furanes et de dioxines sont non détectables (ESP Environmental Ltd. 2000). Cependant, une étude russe de 2001 a étudié les émissions de PCDD/PCDF dans la ville de Krasnoyarsk et concluait que l'usine d'aluminium était responsable de 70% des émissions industrielles de PCDD/PCDF dans l'air, et de 22% dans les sols (Kucherenko *et al.* 2001). Il faudrait davantage d'études dans ce secteur pour savoir si oui ou non la production d'aluminium primaire est une source significative de dioxines et de furanes.

2.4 Information générale sur les rejets issus des usines de production d'aluminium primaire

Les gaz à effet de serre en provenance de la production d'aluminium représentent un polluant majeur résultant de la combustion de matières fossiles, de la consommation des

anodes en carbone et des carbones perfluorés venant des effets d'anode. En plus de ces gaz à effet de serre, les fonderies d'aluminium envoient d'autres émissions dans l'atmosphère, comme des déchets solides (des «brasques»), et des effluents liquides (SNC- Lavalin Environnement 2002, p.3:14).

«L'usage d'anodes en carbone mène à des émissions de dioxyde de soufre (SO_2), d'oxysulfure de carbone (COS), d'hydrocarbures polycycliques aromatiques (PHA) et d'oxydes d'azote (NO_x). La plus grande partie du soufre dans l'anode de carbone est rejetée sous forme de COS, qui n'est pas complètement oxydé en SO_2 avant d'être rejeté dans les cheminées des unités d'épuration des gaz, associées à la salle des creusets. Les émissions de soufre prédominent sous forme de SO_2 avec une part mineure de COS. On pense que l'émission de gaz sulfureux, provenant de la réduction de l'aluminium, augmente avec la teneur croissante en soufre des coques de pétrole utilisés pour fabriquer les anodes. L'emploi d'anodes précuites a pratiquement éliminé les émissions de HPA, souvent associées aux anodes Söderberg. Les émissions de NO_x proviennent principalement de la combustion de combustible dans le four de cuisson des anodes» (SNC-Lavalin Environnement 2002 p.314)

«L'électrolyse de l'alumine mène aussi à des émissions de fluorures (fluorures sous forme de particules et HF gazeux) et d'autres particules. L'extraction de fluorures des gaz des cellules, à l'aide d'épurateurs secs à injection modernes pour l'alumine, permet maintenant un rendement supérieur à 99%; les émissions finales de fluorures venant des unités modernes de pré-cuisson sont nettement diminuées. Le changement d'anode et le refroidissement des mégots sont les sources les plus importantes d'émissions fugitives de fluorures dans les fonderies d'aluminium; celles-ci sont estimées à 4 ou 5 fois plus importantes que les émissions par les cheminées (en aval des épurateurs)» (SNC- Lavalin Environnement 2002 p.316).

«L'effet d'anode» provoque la création d'hydrocarbures perfluorés au niveau des cuves de fusion, lorsque la concentration en alumine tombe en dessous d'un certain niveau – ce qui est dû à un manque de matières chargées. L'anode de carbone réagit par préférence avec le fluorure contenu dans la solution de cryolithe parce qu'il n'y a pas assez d'oxygène dans l'alumine. Quand cela se passe, le tétrafluorure de carbone (CF_4) et l'hexafluoréthane (C_2F_6) sont produits, en parallèle à une pointe de tension. La quantité d'hydrocarbures fluorés produits dépend de l'efficacité du contrôle de la charge dans la cuve. Pour les cuves qui ne sont pas équipées de ce genre de contrôle, les émissions dues à «l'effet d'anode» peuvent être la source la plus importante, comptant pour plus de 50%, des émissions totales de la fonderie (sur une base d'équivalence CO_2). Toute cuve à alimentation par points, équipée d'un contrôle par ordinateur, peut opérer à une fréquence faible d'effet d'anode. Les techniques plus anciennes comme les cuves à anodes Söderberg à goujon vertical, ou horizontal, ont des taux de génération de carbone perfluoré plus importants. Ces technologies n'ont pas généralement des capteurs individuels sur les cuves, et le chargement se fait normalement en vrac, sans

automatisation. Les techniques de contrôle du procédé dans les fonderies modernes à anodes précuites sont telles qu'elles peuvent réduire les émissions à moins de 5% du total des émissions de gaz à effet de serre de la fonderie. Les émissions de CO₂ provenant de la consommation de l'anode sont la deuxième source la plus importante pour les cuves dépourvues de moyens de contrôle moderne (SNC-Lavalin Environment 2002, p.310-311).

■ Tableau 3. Emissions, effluents, sous-produits et déchets solides venant de la production d'aluminium primaire

Procédé	Emissions atmosphériques ^(a)	Effluents	Sous-produits, déchets solides
Raffinage de l'alumine	Particules	Eaux usées contenant de l'amidon, du sable et produits caustiques	Boue rouge, oxalate de sodium
Production anodique	Particules, fluorures, hydrocarbures polycycliques aromatiques, SO ₂ , PCDD/PCDF ^b	Eaux usées contenant des solides en suspension, des fluorures et produits organiques	Poussières de carbone, braie, déchets réfractaires
Fusion d'aluminium	CO, CO ₂ , SO ₂ , fluorures (gazeux et en particules) hydrocarbures perfluorés (CF ₄ , C ₂ F ₆), hydrocarbures polycycliques aromatiques PCDD/PCDF ^b	Effluents venant des systèmes de contrôle par voie humide (électrofiltres humides)	Revêtements de cuve usagés, déchets venant d'équipement humide de contrôle de la pollution de l'air, boues

(a) Excluant les émissions en relation avec la combustion

(b) Basé sur l'étude à Krasnoyarsk (Kucherenko *et al.* 2001)

Source: Energetics Inc.1997

3. Procédés alternatifs pour la production d'aluminium de première fusion (nouvelles technologies)

La Convention de Stockholm précise que lorsque l'on doit envisager la construction d'une nouvelle usine d'aluminium primaire, la priorité devrait être donnée aux procédés, techniques ou pratiques alternatives, ayant la même utilité mais évitant la formation et le rejet des substances identifiées.

Il existe un certain nombre d'initiatives de recherche en cours pour la production de l'aluminium primaire, tout en réduisant la consommation d'énergie et les émissions (European Commission 2001, p. 335; SNC-Lavalin Environment 2002; Welch 1999; USGS 2001; BCS Inc. 2003 p.41-58). Ces initiatives comprennent:

- Anodes inertes: des anodes sans carbone qui sont inertes, stables en dimension, et qui se consomment lentement en dégageant de l'oxygène à la place du CO₂. L'emploi d'anodes inertes écarte la nécessité d'une usine d'anodes en carbone (et donc élimine les émissions d'hydrocarbures polycycliques aromatiques du procédé);
- Cathodes mouillables: des nouvelles matières, ou des revêtements pour remplacer les matériaux des cathodes actuelles, permettant une amélioration de l'efficacité énergétique;
- Electrodes verticales: électrolyse à basse température (VELTE): le procédé utilise un alliage métallique pour l'anode, qui ne se consomme pas, une cathode mouillée, et un bain électrolytique qui est maintenu en saturation d'alumine à une température relativement basse de 750°C, grâce à des particules libres d'alumine en suspension dans le bain. Cette technologie pourrait produire de l'aluminium métal primaire, à consommation d'énergie plus faible, à meilleur coût, et en provoquant moins de dégradations écologiques que les procédés conventionnels du type Hall-Héroult;
- Cellules drainées: cela implique le revêtement des cathodes avec du dibromure de titane en éliminant la plaque de métal, ce qui réduit la distance entre l'anode et la cathode, et donc diminue le voltage nécessaire, tout en réduisant les pertes calorifiques;
- Technologie carbothermique: la réduction carbothermique produit de l'aluminium par une réaction chimique qui a lieu dans un réacteur, et qui prend beaucoup moins de place que la réaction Hall-Héroult. Ce procédé réduirait de manière significative les émissions d'hydrocarbures perfluorés résultant des effets d'anode en carbone, réduirait les émissions de produits dangereux venant des cuves, de même que les émissions d'hydrocarbures associées à la cuisson des anodes consommables;
- Technologie de la réduction à la kaolinite: la production d'aluminium par réduction du chlorure d'aluminium, en utilisant des argiles, est intéressante parce que la matière première est facilement disponible et peu coûteuse. La thermodynamique permet aussi des réactions de conversion rapide, avec moins de consommation électrique et sans la formation de résidus de bauxite.

4. Mesures primaires et secondaires

Les mesures primaires et secondaires pour réduire les émissions de PCDD/PCDF provenant des procédés de production d'aluminium primaire sont décrites ci-dessous.

On connaît mal les réductions d'émission auxquelles on peut s'attendre par l'application des mesures primaires et secondaires. Il est cependant recommandé que l'on envisage de mettre en œuvre les mesures primaires et secondaires en même temps dans les fonderies existantes.

Il faut noter qu'aucune mesure secondaire n'a été développée de manière spécifique pour les fonderies d'aluminium de première fusion, avec l'objectif de contrôler la formation non intentionnelle de PCDD/PCDF. Ce qui suit représente des mesures

générales qui peuvent permettre une diminution des émissions de polluants dans les fonderies d'aluminium primaire, y compris les rejets de PCDD/PCDF.

4.1 Mesures primaires

Celles-ci sont des mesures de prévention de la pollution, qui peuvent diminuer ou empêcher la formation et le rejet de substances identifiées (particules, fluorures, hydrocarbures polycycliques aromatiques, dioxyde de soufre, dioxyde de carbone, monoxyde de carbone et carbones perfluorés). On dit parfois que ces mesures sont des mesures d'optimisation ou d'intégration. La prévention de la pollution est définie comme «des procédés, des pratiques, des matériaux, des produits ou de l'énergie qui évitent ou diminuent la création de polluants et de déchets, et qui réduisent les risques pour la santé de l'homme ou de l'environnement». (cf. section III.B du présent guide). A noter qu'il n'y a pas de mesures primaires identifiées pour les PCDD/PCDF.

Pour les nouvelles fonderies, l'utilisation de la technique des anodes précuites, plutôt que les anodes Söderberg, est une mesure significative en vue de la réduction de la pollution (World Bank 1998). L'utilisation de cuves à anodes précuites avec des points multiples de remplissage automatique, est considérée comme la meilleure technique disponible pour la production d'aluminium primaire. (European Commission 2001, p.325).

«Des points d'alimentation multiples permettent une meilleure précision, un accroissement de la qualité de fonctionnement de la cuve. Ces points sont généralement situés au centre de la cuve et donc diminuent la diffusion nécessaire pour faire migrer l'alumine dissoute vers les sites de la réaction anodique. L'addition contrôlée de petites quantités d'alumine améliore le processus de dissolution, ce qui aide à améliorer le contrôle et la stabilité de la cuve, tout en diminuant les effets d'anode, et en abaissant la formation de boues insolubles sur la cathode. Dans le jargon du commerce moderne, ces points de remplissage permettent l'apport d'alumine en «flux tendu» (*just in time* en anglais) et permettent l'optimisation des opérations dans la cuve. L'amélioration de ces points de remplissage évolue en parallèle avec l'amélioration des contrôles de plus en plus précis (BCS Inc. 2003, p.47).

Des procédés de contrôles avancés sont aussi en train d'être adopté par l'industrie, pour réduire la fréquence de l'effet d'anode, et pour contrôler variables opérationnelles, en particulier la chimie du bain et la saturation en alumine, de telle manière à ce que les cuves demeurent au niveau des conditions optimales (BCS Inc. 2003).

Les mesures primaires qui peuvent aider à réduire la formation et le rejet de substances identifiées comprennent (European Commission 2001, p.326, 675-676):

1. Un système éprouvé pour la gestion de l'environnement, le contrôle opérationnel et la maintenance;
2. Un contrôle assisté par ordinateur du procédé d'électrolyse basé sur les données actives de la cuve, et un suivi du contrôle des paramètres de

fonctionnement, afin de réduire la consommation d'énergie et de réduire le nombre et la durée des effets d'anode;

3. Si les impacts sur l'environnement à un niveau local, régional ou à longue distance imposent des réductions de SO_2 , l'utilisation de carbone à basse teneur en soufre pour les anodes, ou la pâte d'anode, si possible, ou d'un épurateur pour le SO_2 .

4.2 Mesures secondaires

Les mesures secondaires sont des technologies ou des techniques de contrôle de pollution, parfois appelées des traitements de fin de procédé (*end of pipe* en anglais). A noter que ces mesures ne sont pas à considérer comme de mesures secondaires spécifiques à la réduction des rejets de PCDD/PCDF, mais aux rejets de polluants, en général.

Les mesures suivantes ont montré qu'elles réduisaient effectivement les rejets venant de la production d'aluminium primaire, et devraient être considérées comme les meilleures techniques disponibles (European Commission 2001, p.326, 675-676):

1. Préparation de la charge: broyage, mélange et soutirage en enceinte fermée, filtres en tissu pour la réduction de la pollution;
2. Couverture complète des cuves par hottes, connectées à une évacuation des gaz avec filtre; emploi de couvercles solides et des taux d'extraction adaptés; système scellé de refroidissement des bouts d'anode;
3. Récupération des fumées des cuves à plus de 99%, à long terme; réduction du temps pris pour ouvrir ces couvercles et pour changer les anodes;
4. Les gaz provenant du procédé de fonderie primaire devraient être traités pour enlever les poussières, les fluorures et le HF, en utilisant des épurateurs pour alumine ainsi que des filtres en tissu. L'efficacité des laveurs pour la totalité des fluorures devrait être supérieure à 99,8%, et l'alumine récupérée, utilisée dans les cuves électrolytiques;
5. Usage de brûleurs à faible NO_x ou allumage par oxy-gaz; contrôle de l'allumage des fours pour optimiser l'énergie nécessaire, et pour réduire les émissions de NO_x et d'hydrocarbures polycycliques aromatiques;
6. S'il existe une usine intégrée de production d'anodes, les gaz du procédé devraient être traités dans un épurateur pour alumine, avec un système de filtre en tissu, puis l'alumine récupérée sera réutilisée dans la cuve électrolytique. Les brais venant des procédés de mélange et de mise en forme, peuvent être traités dans un filtre à coke;
7. Destruction des cyanures, des brais et des hydrocarbures dans un post brûleur si ces produits n'ont pas été retirés auparavant;
8. Emploi d'épurateurs humides ou semi humides pour retirer le SO_2 , si nécessaire;

9. Emploi de bio-filtres pour supprimer les odeurs, si nécessaire.
10. Emploi de techniques fermées ou de systèmes de refroidissement indirect.

5. Résumé des mesures

Les tableaux 4 et 5 présentent un résumé des mesures présentées précédemment.

■ **Tableau 4. Mesures pour les nouvelles usines de production d'aluminium primaire**

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Procédés alternatifs	La priorité devrait être donnée aux procédés alternatifs avec moins d'impacts sur l'environnement que les usines traditionnelles existantes	Les exemples sont: <ul style="list-style-type: none"> • anodes inertes • cathodes mouillables • électrodes verticales – électrolyse à basse température • technologie de cuves drainées • technologies de la carbothermie • technologies de la réduction par kaolinite 	Ces procédés sont encore en phase de développement
Technologie anode précuite	L'utilisation de cuves à anodes centrales précuites avec points multiples de remplissage est considérée comme la meilleure technique disponible.		
Niveaux de performances	Les nouvelles usines de production d'aluminium primaire devraient respecter strictement les exigences de performance associées aux meilleures techniques disponibles.	Il faut envisager les mesures primaires et secondaires listées en Tableau 5.	Il n'y a pas d'exigence de performance relative aux rejets de PCDD/PCDF provenant des usines d'aluminium primaire.

■ **Tableau 5. Résumé des mesures primaires et secondaires pour les usines de production d'aluminium primaire**

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Mesures primaires			
Système de gestion de l'environnement, contrôle opérationnel et maintenance			
Procédés et suivi contrôlés par ordinateur	Pour minimiser la consommation en énergie, et le nombre et la durée des effets d'anode		
Sélection des charges: basse teneur en soufre pour les anodes et pâtes à anodes	Pour contrôler des émissions de dioxyde de soufre, si nécessaire	Utilisation possible de laveurs à SO ₂	
Mesures secondaires			
Préparation des charges: broyage et mélange en enceinte fermée, utilisation de filtres en tissu	Pour éviter des rejets de particules fines		
Couverture totale des cuves avec des hottes	Utilisation de hottes qui couvrent complètement les cellules pour capter les gaz allant aux filtres et aux cheminées		
Captage et traitement des fumées	Le captage des fumées devrait avoir une efficacité >99%. Les gaz devraient être dépoussiérés, les fluorures et HF retirés en utilisant un laveur pour alumine, et des filtres en tissu.		Le temps pris pour l'ouverture des cuves et le changement d'anodes devrait être réduit.
Brûleurs à bas NO _x et allumage par oxy-gaz	L'allumage de four devrait être optimisé pour réduire les émissions de NO _x et d'hydrocarbures polycycliques aromatiques		

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Epurateur pour alumine	Les gaz émis de l'usine à anode devraient être traités par des épurateurs pour alumine, et des filtres en tissu		L'alumine devrait être utilisée dans les cuves électrolytiques. Le brai peut être traité dans un filtre à coke.
Post brûleur	Pour détruire les cyanures, le brai et les hydrocarbures polycycliques aromatiques, si non éliminés par d'autres traitements		
Epuration par voie humide ou demi sèche	Pour extraire le SO ₂ , si nécessaire		
Biofiltres	Pour retirer les odeurs des composants, si nécessaire		

6. Niveau de performance associé aux meilleures techniques disponibles

Les niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles pour les émissions dans l'air de PCDD/PCDF dans le secteur de l'aluminium primaire sont <0,1 ng I-TEQ/Nm³ (aux concentrations d'oxygène opératoires).

Références

AEA Technology Environment. 1999. *Releases of Dioxins and Furans to Land and Water in Europe*. Prepared for Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Germany, on behalf of European Commission DG Environment.

Aluminium Association of Canada. aac.aluminium.qc.ca/anglais/production/index.html.

BCS Inc. 2003. *U.S. Energy Requirements for Aluminum Production: Historical Perspectives, Theoretical Limits and New Opportunities*. Prepared under contract for the United States Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy.

Energetics Inc. 1997. *Energy and Environmental Profile of the U.S. Aluminum Industry*. Prepared for the United States Dept of Energy, Office of Industrial Technologies, Maryland. www.oit.doe.gov/aluminum/pdfs/alprofile.pdf.

ESP Environmental Ltd. 2000. *Anglesey Aluminum Dioxin and Furan Emission Survey*. ESP Environmental Ltd, Carmarthenshire, Wales.

European Commission. 2001. *Reference Document on Best Available Techniques in the Non-Ferrous Metals Industries*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es.

Kucherenko A., Kluyev N., Yufit S., Cheleptchikov A. and Brodskj E. 2001. «Study of Dioxin Sources in Krasnoyarsk, Russia.» *Organohalogen Compounds* 53:275–278.

New Zealand Ministry for the Environment. 2000. *New Zealand Inventory of Dioxin Emissions to Air, Land and Water, and Reservoir Sources*. www.mfe.govt.nz/publications/hazardous/dioxin-emissions-inventory-mar00.pdf.

SNC-Lavalin Environment. 2002. *Evaluation of Feasibility and Roadmap for Implementing Aluminium Production Technologies That Reduce/Eliminate Greenhouse Gases and Other Emissions*. Prepared for Environment Canada.

UK Environment Agency. 1997. *A Review of Dioxin Releases to Land and Water in the UK*. Research and Development Publication 3. Environment Agency, Bristol, United Kingdom.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2003. *Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases*. UNEP, Geneva. www.pops.int/documents/guidance/Toolkit_2003.pdf.

USGS (United States Geological Survey). 2001. *Technological Advancement: A Factor in Increasing Resource Use*. Open-File Report 01-197. pubs.usgs.gov/of/of01-197/html/app2.htm.

Welch B.J. 1999. «Aluminum Production Paths in the New Millennium.» *Journal of Metals* 51:5. www.tms.org/pubs/journals/JOM/9905/Welch-9905.html.

World Bank. 1998. «Industry Sector Guidelines – Aluminum Manufacturing.» In: *Pollution Prevention and Abatement Handbook*. World Bank, Washington, D.C.

(iii) Production de magnésium

■ Résumé

Le magnésium est produit soit à partir de chlorure de magnésium brut par électrolyse en sels fondus, soit par réduction d'oxyde de magnésium avec du ferrosilicium ou de l'aluminium à haute température, et aussi à partir de magnésium de récupération (par exemple des schlamms avec amiante).

L'addition de chlore ou de chlorures, la présence d'anodes en carbone et de hautes températures de procédé peuvent mener à la formation de produits chimiques listés en Annexe C de la Convention de Stockholm, ainsi qu'à leur rejet dans l'air et dans l'eau.

Des techniques alternatives peuvent éviter la source de carbone en employant des anodes non graphitées et du charbon actif. Cependant, les niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles dépendent du type de procédé et des types de contrôles mis en œuvre pour ce qui concerne les rejets vers l'eau et l'air.

1. Description de procédé

Il existe deux principaux procédés pour produire le magnésium métal. Le premier consiste à récupérer le chlorure de magnésium en provenance des matières premières et à le transformer en métal par une électrolyse en sel fondu. Le second type de procédé consiste à réduire l'oxyde de magnésium avec du ferrosilicium ou de l'aluminium à haute température. Des exemples de ces deux procédés sont décrits ci-dessous.

Le magnésium peut aussi être récupéré et produit à partir de matières secondaires, comme des ferrailles, contenant du magnésium (VAMI 2004).

1.1 Production de magnésium à partir de sources d'oxyde de magnésium

Le procédé permet de fabriquer du magnésium à partir de matières premières du type oxyde comme: magnésite, brucite, serpentines et autres. On peut aussi l'utiliser pour des matières premières contenant du sulfate de magnésium, mélangé ou non avec des chlorures, y compris de l'eau de mer. Dans tous les cas, le chlore qui est produit par électrolyse est recyclé et employé pour la transformation de l'oxyde ou du sulfate de magnésium, en chlorure de magnésium (VAMI 2004).

Le procédé de production du magnésium à partir d'oxydes de magnésium se fait avec les étapes suivantes (cf. Figure 4)

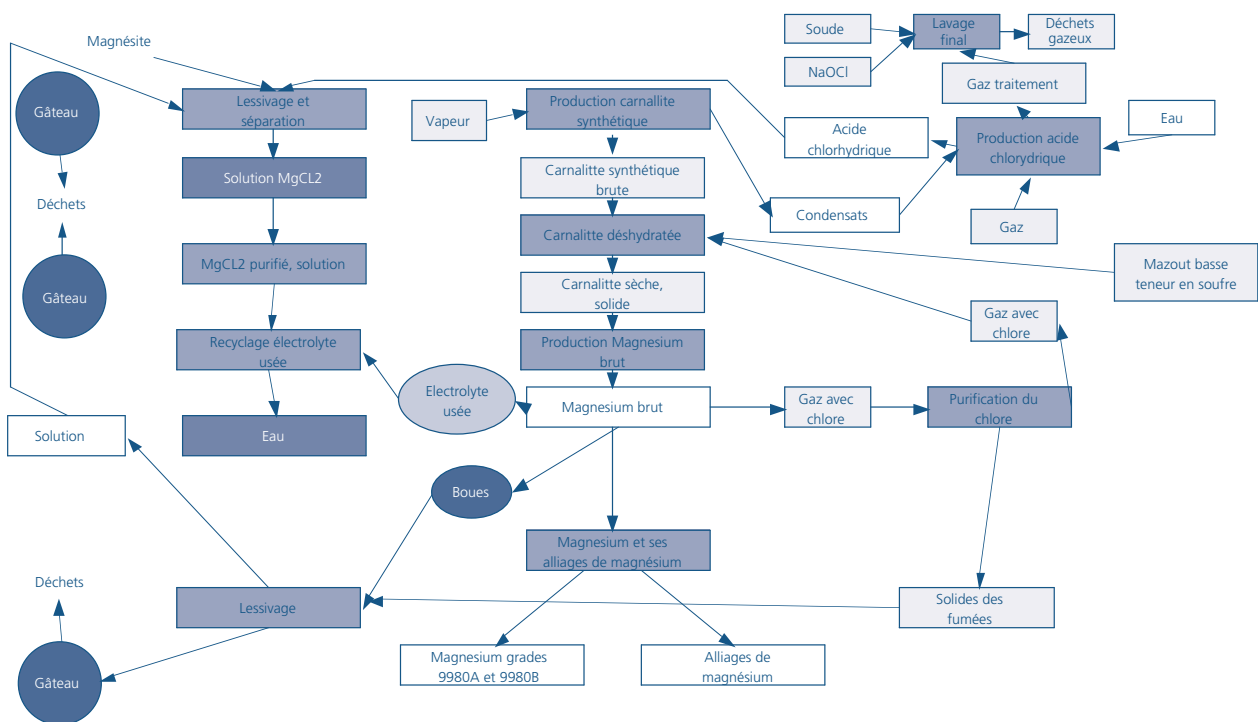
1. Lixiviation de la matière première avec de l'acide chlorhydrique, puis purification de la solution obtenue;
2. Séparation du chlorure de magnésium sous forme de carnallite synthétique ou de mélange de chlorures, de cette solution;

3. Déshydratation de ce produit dans un lit fluidisé à l'aide de gaz chauds, contenant du HCl, menant à un produit solide séché, ne contenant pas plus de 0,3% en poids de l'oxyde de magnésium et d'eau, chacun;
4. Introduction de ce produit dans une cellule d'électrolyse ou dans le tout début de la ligne de production, suivi d'une électrolyse, avec production de magnésium et de chlore.

Le chlore produit par électrolyse passe alors dans les brûleurs de fours à lit fluidisé, où il est transformé en acide chlorhydrique (HCl). Les gaz venant des fours à lit fluidisé, contenant du HCl, sont soit traités à l'eau pour produire de l'acide chlorhydrique qui est utilisé pour la lixiviation des matières premières, soit neutralisés par une suspension aqueuse d'oxyde de magnésium pour produire une solution de chlorure de magnésium.

L'électrolyte utilisé produit au cours de l'électrolyse est utilisé pour la production de carnallite synthétique. Tous les déchets contenant du chlore sont employés pour la production d'oxydes neutres. C'est un avantage significatif du point de vue écologique.

■ **Figure 4. Schéma du procédé de la fabrication de magnésium à partir d'oxyde de magnésium**



1.2 Le procédé Pidgeon (procédé par réduction thermique)

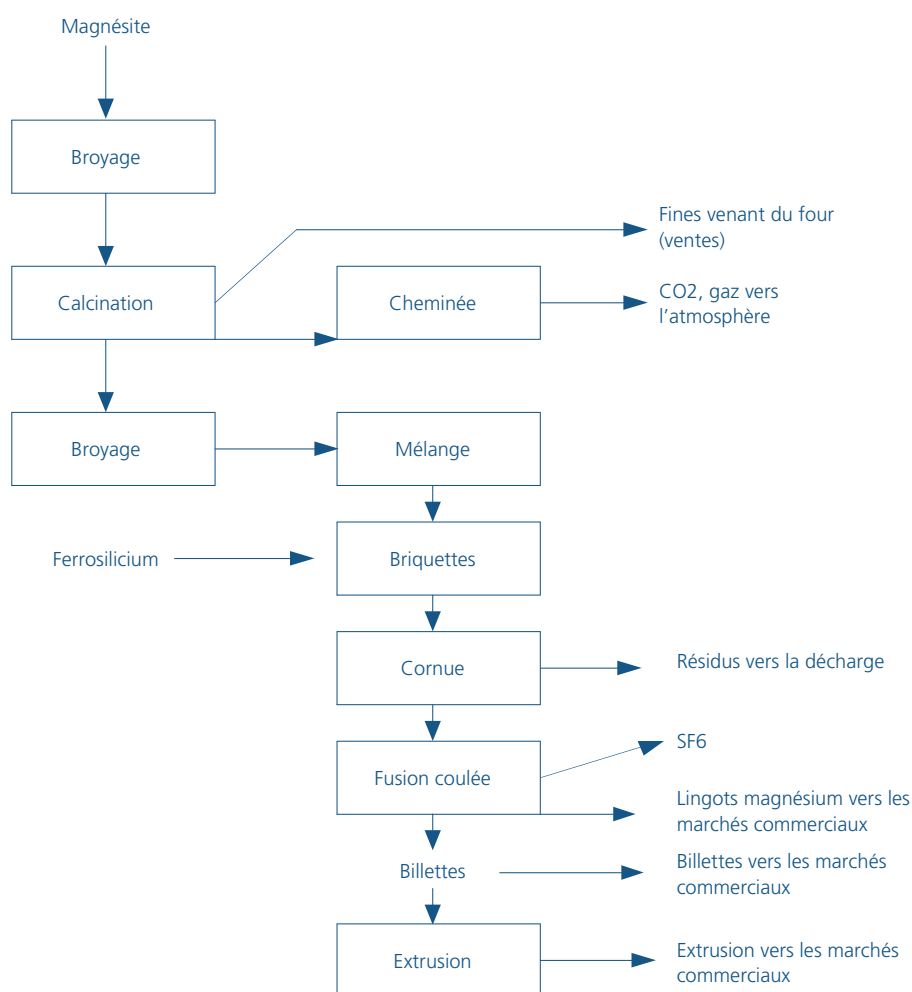
Dans ce procédé, le magnésium est produit à partir de dolomite calcinée, sous vide et à haute température, en utilisant du silicium comme agent réducteur. Dans le procédé, la dolomite (carbonate de magnésium/calcium), finement broyée, est envoyée dans un four rotatif où elle est calcinée, faisant partir le dioxyde de carbone, laissant un produit appelé dolomite calcinée. Celle-ci est pulvérisée dans un broyeur à cylindre avant d'être mélangée avec du ferrosilicium et du spath fluor finement broyés. La dolomite fine calcinée, le ferrosilicium et le spath fluor sont pesés par lots, puis mélangés dans un

mélangeur rotatif. Ce mélange est alors mis en forme de briques à l'aide d'une presse (site Internet Noranda Magnesium).

Les briquettes sont alors convoyées vers les fours de réduction. L'opération de réduction est un procédé discontinu, libérant le magnésium sous forme de vapeur qui se condense dans une zone refroidie par de l'eau, située à l'extérieur des parois du four. Après la sortie du four, la couronne de magnésium est retirée de la manche dans une presse hydraulique. Les résidus qui restent après cette réduction sont retirés de la cornue et expédiés en décharge.

La figure 5 illustre le procédé sous forme schématique.

■ **Figure 5. Schéma du cycle de procédé: usine de magnésium de Timmines**



Source: Hatch and Associates 1995

1.3 Procédés divers, et considérations

Différents procédés thermiques de production de magnésium sont utilisés dans divers pays. Ceux-ci sont basés autour du procédé Pidgeon, développé au Canada dans les années '40. La dolomite calcinée (CaO/MgO) est fondue avec du ferrosilicium (FeSi) sous vide. Le magnésium est évaporé à partir du métal en fusion, puis condensé en dehors du réacteur pour former un dépôt de métal qui peut être enlevé et refondu en lingots pour utilisation industrielle. La cornue est souvent chauffée par du charbon. Ceci peut

mener à des émissions significatives de polluants organiques persistants. Un déchet sous forme de scorie contenant du fer et du silicate de calcium, mêlée à une certaine proportion d'oxyde de magnésium non réagi est produit, et les cendres venant de la combustion du charbon doivent aussi être éliminées. Bien que l'on utilise de l'eau de refroidissement, celle-ci n'est pas nécessairement polluée par les déchets de la production.

Les procédés vont dépendre de la nature des matières premières disponibles, de la dimension de l'usine, de ses infrastructures et des conditions locales. Des procédés améliorés sont maintenant disponibles qui minimisent les impacts sur l'environnement tout en réduisant l'énergie consommée. Cependant ces procédés ne sont disponibles que si une licence est obtenue et ne sont donc pas accessibles pour tous. Un procédé qui fonctionne de manière presque en continu a été développé en Afrique du Sud; ce procédé se fait à pression atmosphérique (procédé Mintek) et est disponible sous licence. Un contrôle efficace des rejets dépend d'une spécification soignée de l'usine, et d'une exploitation efficace de l'unité pour diminuer la consommation d'énergie tout en optimisant la transformation des matières premières en produits. Diverses approches sont disponibles, et le choix se fera en fonction d'une combinaison de facteurs tels que les besoins économiques et techniques. Des contrôles de pollution de l'air sont à prévoir, ainsi que des installations pour manipuler et éliminer les déchets solides.

Le choix d'un procédé qui minimise la consommation d'énergie pourrait minimiser la production de polluants organiques persistants. Les procédés en continu tendent donc à être plus efficaces sur le plan énergétique, car il faut moins de chaleur pour remettre le réacteur à des températures opératoires, entre les cycles. Un procédé largement utilisé et disponible sous licence, est le procédé Magnatherm, qui remplace le chauffage au charbon du cornu par un chauffage électrique par induction. Par conséquent, il n'y a plus d'émissions de polluants organiques persistants produits par le combustible. Ce procédé fonctionne aussi de manière semi-continue, avec un vide plus faible que celui nécessaire pour les usines fonctionnant avec le procédé original Pidgeon. Un chauffage avec du mazout ou du gaz au lieu du charbon peut réduire de manière importante les polluants organiques persistants, et cela est recommandé lorsqu'il existe un bon réseau de distribution pour ces derniers combustibles.

2. Sources des produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm

2.1 Emissions vers l'air

2.1.1 Information générale sur les émissions venant de la production de magnésium

Les usines de production de magnésium génèrent plusieurs types de polluants, incluant de la poussière, du dioxyde de soufre (SO_2), des oxydes d'azote (NO_x), du chlore (Cl_2), de l'acide chlorhydrique (HCl) et dans certains cas, de l'hexafluorure de soufre (SF_6), générés pendant le procédé.

La poussière et le dioxyde de soufre sont principalement émis lors de la calcination de la dolomite et de l'oxyde de magnésium (MgO), à partir de granules que l'on sèche, comme au cours du traitement des effluents gazeux du cycle de chloration.

Les sources d'émission des oxydes d'azote sont la calcination de la dolomite et du MgO, ainsi que le séchage des granules. Le chlore et le HCl sont produits par les procédés d'électrolyse et de chloration, ainsi que par le système de traitement des gaz générés.

Alors que le dioxyde de carbone est émis tout au long du procédé de fabrication, la source de rejets d'hexafluorure de soufre se trouve dans la zone où l'on effectue la coulée.

2.1.2 Emissions de PCDD/PCDF

Selon les tests réalisés sur un procédé électrolytique d'une usine de production de magnésium en Norvège, le principal procédé responsable de la formation de dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD) et de dibenzofuranes polychlorés (PCDF) était un four transformant les granules de MgO et de coke, en chlorure de magnésium (MgCl₂) par chauffage dans une atmosphère de Cl₂ à 700-800°C (Oehne, Manø and Bjerke 1989, European Commission 2001).

La purification du MgO en utilisant HCl et des plaques de graphite («chloration»), et l'électrolyse du MgCl₂ eu utilisant des électrodes en graphite, sont aussi des sources possibles de formation de PCDD/PCDF (UNEP 2003).

Timminco Ltd, en Ontario, Canada, qui utilise la technologie de réduction thermique Pidgeon, a signalé des rejets de PCDD/PCDF de 0,46 g I-TEQ/an (CCME 2003).

Les données sur les émissions de dioxine issue d'une plus ancienne usine de production de magnésium en Norvège (Norsk Hydro) au cours des années 1992-2001 indiquaient un chiffre d'environ 0,03-0,25 ng I-TEQ/tonne de magnésium produit.

Ces émissions ont baissé de 0,3 ng I-TEQ/tonne de Mg à moins de 0,1 ng I-TEQ/tonne de Mg après la mise en place dans l'usine d'un système de nettoyage complémentaire des gaz.

Le Tableau 6 montre les émissions dans l'air dues aux différents procédés de production de magnésium; il est à noter que les valeurs indiquées comme des performances représentatives par Norsk Hydro sont différentes de celles citées ci-dessus.

■ **Tableau 6. Emissions dans l'air de différents procédés de production du magnésium**

Type de procédé	Source	Emissions ¹ (ngTEQ/Nm ³)	Concentration (µg TEQ/t)
	Traitement des gaz venant de la chloration	0,8	12
	Gaz venant de la chloration	0,8	28
	Gaz venant d'électrolyse/chloration	–	13
Thermique	Réduction, affinage, fusion	0,08	3
Norsk Hydro	–	–	<1,0

Hydro Magnesium Canada a donné un total de 0,456 I-TEQ/an² pour les émissions de PCDD/PCDF dans l'air; les détails sont donnés dans le Tableau 7.

■ **Tableau 7. Emissions de PCDD/PCDF par source: Hydro Magnesium Canada**

Source	G TEQ/an
Dissolution	0,001
Déshydratation	0,112
Electrolyse	0,277
Fonderie	0,025
Synthèse HCl	0,00033
Re-fusion du Mg	0,050

2.2 Rejets vers d'autres milieux

2.2.1 L'eau

Les principaux polluants des eaux, dans les procédés de production du magnésium, sont les composés métalliques solides, en suspension. Des hydrocarbures chlorés et des PCDD/PCDF, cependant, ont aussi été trouvés dans les eaux usées issues du procédé électrolytique du magnésium. (Tableau 8).

■ Tableau 8. Rejets de PCDD/PCDF dans l'eau, issus de différents procédés de production du magnésium

Type	ng/m ³	µg TEQ/t de Mg
Electrolytique	100	13
Thermique	0,08	3
Norsk Hydro procédé	-	<0,1

Source: Hydro Magnésium Canada

Les données concernant des émissions de Norsk Hydro au cours de la période 1992-2001, fournies par la Norvège, sont les suivantes (à noter que les valeurs citées ci-dessus, représentatives des performances de Norsk Hydro, sont différentes de celles-ci):

- (1). Rejets de dioxines dans l'eau: environ 0,03-0,09 ng I-TEQ/tonne de Mg produite
- (2). Rejets d'hexachlorobenzène dans l'eau: environ 0,02-0,2 g I-TEQ/tonne de Mg produite

2.2.2 La terre

On pourrait penser que le procédé de lavage par voie humide pour traiter les gaz générerait des résidus contenant des PCDD/PCDF. Un traitement des eaux comprenant une sédimentation des résidus dans une lagune constituerait alors un rejet dans la terre (UNEP 2003).

■ Tableau 9. Facteurs d'émissions dans l'industrie du magnésium: PCDD/PCDF

Facteurs d'émission: µg TEQ/t de Mg

	Air	Eau	Sol	Produit	Résidu
Production utilisant traitement MgO/C dans Cl ₂ , pas d'effluent, traitement limité des gaz	250	9000	n.a	n.a	0
Production utilisant traitement de MgO/C	50	30	n.a	n.a	9000
Procédé de réduction thermique	3	n.d	n.a	n.a	n.a

n.a non applicable

n.d non déterminé

Source UNEP 2005

■ **Tableau 10. Facteurs d'émission dans l'industrie du magnésium: Hexachlorobenzène (HCB)**

Facteurs d'émission: µg / kg

	Air	Eau	Sol	Généré par le procédé	Volatilisé à partir du sol
Norsk Hydro Posgrunn ^a	700-3000	n.d	n.d	n.d	n.d
Norsk Hydro Bécancour ^a	90-170	2,4	60-120	n.d	n.d
Noranda Asbestos ^b	439	0	8	Non estimé	≈ 6

n.d non déterminé

(a): Source: Bramley 1998

(b): Source: Kemp 2004. A noter que l'usine opérait à 50% de ses capacités et que le facteur d'émission est semble-t-il surévalué.

3. Procédés alternatifs pour la production de magnésium

Bien que le rendement et la productivité puissent constituer les forces motrices de l'avancement et du développement de nouvelles technologies alternatives, on s'attend à ce que les aspects écologiques soient pris en considération sérieusement. Cela signifie que l'élimination ou la diminution de la formation des polluants à la source, et l'intégration de systèmes efficaces de lutte contre la pollution devraient être un aspect important au moment de l'élaboration du projet.

3.1 Procédé de déshydratation de Norsk Hydro

Norsk Hydro a développé et exploité avec succès une nouvelle technologie de déshydratation du $MgCl_2$ dans son usine au Canada (European Commission 2001). Les rejets de polluants, surtout les PCDD/PCDF, sont inférieurs de manière significative au procédé existant (Tableaux 9 et 10).

L'usine produit de la saumure $MgCl_2$ en dissolvant de la roche de magnésite dans de l'acide chlorhydrique. Les impuretés comme l'aluminium, le fer et le manganèse sont extraites de cette liqueur par purification. La saumure est alors évaporée, granulée et séchée par la technique de lit fluidisé. Il en résulte un produit anhydre $MgCl_2$.

Les cellules d'électrolyse de Norsk Hydro fonctionnent à environ 400kA. Les granulés de $MgCl_2$ sont envoyés en continu depuis l'atelier de déshydratation vers les cellules d'électrolyse. Cette opération mène au magnésium métal et à du chlore gazeux. Ce dernier réagit avec de l'hydrogène pour produire de l'acide chlorhydrique qui est recyclé lors de l'étape de dissolution de la magnésite. Le magnésium en fusion est coulé dans des conditions contrôlées. Les produits finaux sont des métaux purs et alliés, sous forme de lingots ou de billets.

3.2 Récupération du magnésium à partir des schlamms d'amiante chez Noranda

Une nouvelle technologie appliquée chez Noranda³ concerne la récupération du magnésium à partir des schlamms d'amiante (site Internet Noranda Inc.). La description du procédé est la suivante:

Transformation de la serpentine en magnésium de haute pureté: dans le procédé breveté par Noranda, la serpentine passe par une série de procédés chimiques, et étapes de filtration pour produire un chlorure de magnésium anhydre très pur. Celui-ci est réduit par électrolyse dans des cellules sophistiquées et à haut rendement, en magnésium et en chlore. Le chlore est complètement récupéré et recyclé. Les prévisions de Noranda relatives aux performances environnementales incluent des niveaux d'émissions inférieurs à 0,09 g TEQ de PCDD/PCDF dans l'air, en utilisant un système d'adsorption par charbon actif.

Préparation des matières premières: le procédé Noranda part de la crysotile serpentine (3MgO , 2SiO_2 , $2\text{H}_2\text{O}$), un résidu minier contenant 23% de magnésium. Cette matière est déjà extraite ou se trouve stocké sur le sol, à proximité de l'usine. La serpentine est broyée, tamisée puis séparée à l'aide d'aimants. Elle est ensuite lavée à l'acide chlorhydrique pour créer une saumure de chlorure de magnésium, de même que des résidus de silice et de fer.

Purification de la saumure: pour purifier la solution de chlorure de magnésium, la saumure passe par plusieurs étapes de purification pour enlever les impuretés principales comme le bore. Ces impuretés sont extraites de la saumure par précipitation.

Séchage par lit fluidisé: la saumure de haute pureté est séchée pour produire des granules de chlorure de magnésium. Cela donne un chlorure de magnésium partiellement déshydraté (MgCl_2). Le HCl est recyclé pour être utilisé lors de l'étape de lixiviation.

Unité de chloration par fusion: les granules de chlorure de magnésium sont fondues dans un électrolyte et traitées par un procédé de chloration réalisé par injection de HCl gazeux. L'acide et l'eau sont récupérés pour être utilisés dans la phase de lessivage.

Cellule électrolytique: le magnésium métal est produit par électrolyse en envoyant un fort courant électrique à travers l'électrolyte. Le chlore gazeux qui est produit au cours de l'électrolyse est lavé et combiné avec de l'hydrogène pour donner de l'acide, qui sera reconverti en gaz pour être réutilisé pendant l'étape de chloration.

Coulée: le magnésium métal est coulé en lingots.

Purification des émissions: l'usine de production est équipée d'épurateurs des gaz tout au long du cycle, pour purifier les émissions du procédé et les gaz de ventilation. Le chlore est totalement capté, recyclé puis renvoyé dans le procédé. Les émissions sont lavées pour extraire les particules et autres contaminants, avant d'être rejetées dans l'atmosphère. Ce procédé ne rejette aucun effluent d'eau dans l'environnement.

3.3 Traitement thermique et récupération du magnésium à partir de ferrailles

Lorsque le magnésium est récupéré à partir de déchets de ferrailles, il y aura une possibilité de formation et de rejet des produits listés en Annexe C de la Convention de Stockholm. Différents types de fours peuvent être utilisés.

Tout comme les autres procédés relatifs aux métaux secondaires, la formation sera rendue plus probable s'il y a: une combustion incomplète, des matières chargées contaminées, des procédés de contrôle non adaptés, des températures inadaptées dans le four et, en particulier, des réactions dans les zones de refroidissement (200-450°C).

Des opérations de contrôle efficace et des mesures secondaires diverses telles qu'une post-combustion selon les besoins, un refroidissement rapide des gaz, une élimination efficace des poussières, et une injection possible de charbon, réduiront les rejets. Les poussières et les effluents peuvent contenir des niveaux élevés en produit inscrits à l'Annexe C, et exigeront des traitements appropriés.

4. Mesures primaires et secondaires

4.1 Mesures primaires

Le procédé par électrolyse présente le plus grand intérêt du point de vue des émissions de PCDD/PCDF, en raison de la présence de carbone et de chlore dans le procédé et des conditions de hautes températures.

Les mesures primaires qui peuvent aider à réduire la formation et le rejet de substances identifiées, incluent l'élimination de la source de carbone en remplaçant le graphite par des anodes sans graphite, si possible par des anodes métalliques. Le remplacement des anodes graphite par des anodes en métal a eu lieu dans l'industrie du chlore, au début des années '70, et très peu de PCDF ont été formés (Eurochlor 2001).

Il a été trouvé que les nouveaux procédés de déshydratation du $Mg Cl_2$ produisent beaucoup moins de PCDD/PCDF (Tableaux 9 et 10).

On s'attend à ce que le projet Cogburn proposé pour le magnésium, en Colombie Britannique, à savoir la technologie STI/VAMI, produise moins d'hydrocarbures chlorés qu'à Magnola, en raison de l'absence d'agents de chloration. Voir la sous-section 5 ci-dessous pour des informations complémentaires.

4.2 Mesures secondaires

Ces mesures comprennent:

1. Traitement des effluents en utilisant des techniques telles que la nano-filtration et l'emploi de confinements spécialement étudiés pour les résidus solides et autres effluents.
2. Traitement des gaz de procédé par un lavage à la sortie des unités de chloration, dans des séries d'épurateurs par voie humide, et par des

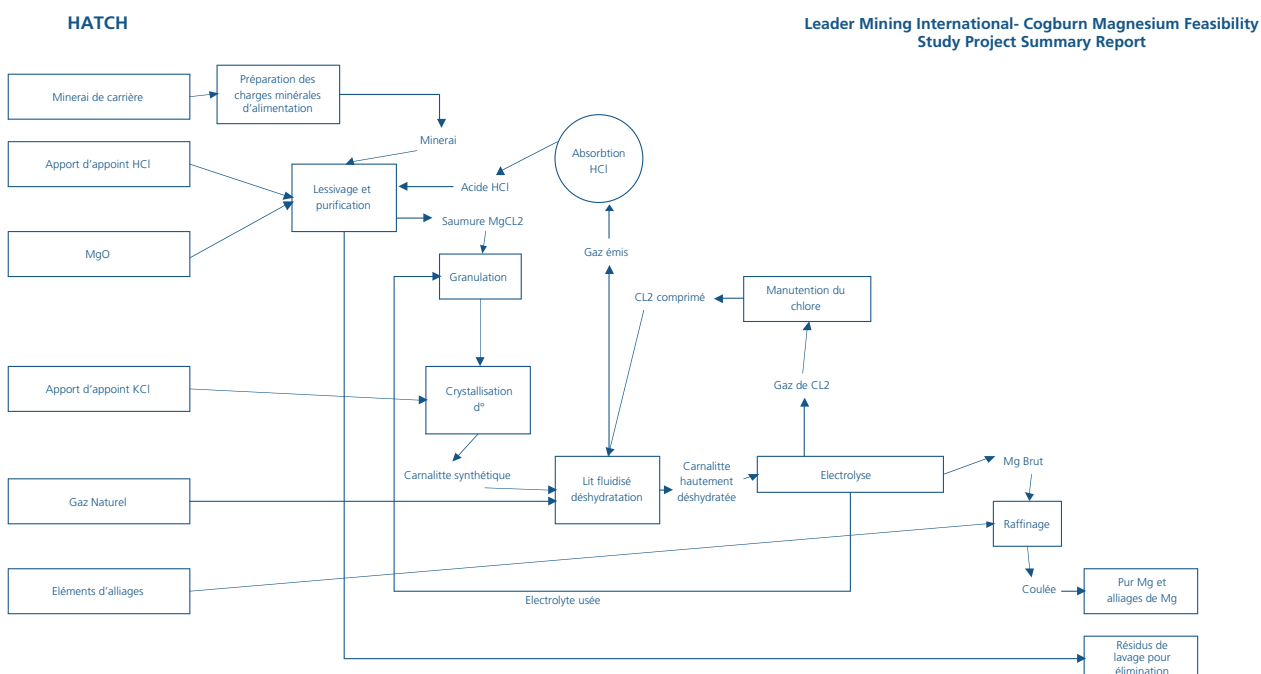
électrofiltres à voie humide situés en amont de l'incinération, et en utilisant des filtres à manche pour nettoyer et retirer les sels entraînés venant du procédé d'électrolyse du magnésium.

- Utilisation de charbon actif: dans le projet Cogburn pour le magnésium, il existe deux systèmes pour retirer les hydrocarbures chlorés; les deux sont basés sur l'élimination des hydrocarbures chlorés dans les effluents liquides, à l'aide de charbon actif.

5. Recherche récente

Un projet Cogburn pour le magnésium en Colombie Britannique devrait utiliser la technologie des cellules électrolytiques STIVAMI pour la décomposition du $MgCl_2$ en magnésium métal et en chlore gazeux (Figure 6). Actuellement, dans l'industrie du magnésium, cela se fait surtout dans les cellules électrolytiques mono-polaires sans diaphragmes. La technologie STIVAMI est basée sur une série de cellules d'électrolyse reliées les unes aux autres, et fonctionnant en continu. Chaque cellule est alimentée individuellement. Le magnésium et l'électrolyte coulent d'une cellule à l'autre grâce à un système de goulottes intégrées. Le magnésium est collecté en fin de ligne de production dans une cellule de séparation, puis est siphonné pour être coulé ultérieurement. Ce système est utilisé actuellement dans une unité en Israël, à l'usine de Dead Sea Magnesium (Hatch and Associate 2003).

■ Figure 6. Schéma simplifié: usine de magnésium du type Cogburn



Source: Hatch and Associates 2003

6. Résumé des mesures

Les tableaux 11 et 12 présentent un résumé des mesures présentées dans les sections précédentes.

■ **Tableau 11. Résumé des mesures primaires pour les usines de magnésium**

Mesure	Description	Considération
Procédés alternatifs	La priorité doit être donnée aux procédés alternatifs ayant moins d'impacts sur l'environnement que les procédés traditionnels de production	Les exemples comprennent: <ul style="list-style-type: none"> • Le procédé Norsk Hydro de déshydratation de la saumure $MgCl_2$ • L'élimination de la source de carbone: remplace le graphite par des anodes sans graphite
Qualité des matières de charge	Une augmentation de la disponibilité de déchets de magnésium et d'autres matières premières contenant du magnésium rendrait le procédé plus attractif pour les fonderies	
Techniques de prétraitement	La calcination de la dolomite provoquent d'importantes quantités de poussières	L'utilisation de four de calcination à suspension de gaz réduirait les poussières de manière significative.

■ **Tableau 12. Résumé des mesures secondaires pour les usines de magnésium**

Mesure	Description	Considération
Traitement des émissions gazeuses	Les gaz venant des fours de chloration dans les usines de Mg contiennent des polluants comme les PCDD/PCDF et des hydrocarbures chlorés	Utilisation d'épurateur à voie humide et d'électrofiltres à voie humide pour retirer les aérosols, suivi d'une incinération afin de détruire les PCDD/PCDF et autres composés organiques volatiles. Le charbon actif est aussi utilisé pour absorber les polluants
Traitement des effluents	Les eaux usées collectées dans les différentes zones d'une usine de magnésium, telles que les effluents issus des épurateurs, au niveau de l'étape de chloration, contiennent des PCDD/PCDF et des hydrocarbures chlorés	Extraire les solides par floculation, sédimentation et filtration, suivies d'une injection de charbon actif pour éliminer les polluants

7. Niveaux de performances associées aux meilleures techniques disponibles pour les HCB des procédés de production de magnésium

Les niveaux de performances associés aux meilleures techniques disponibles pour les différents procédés de production du magnésium ne sont pas disponibles.

Références

Bramley M.J. 1998. *Dioxin and Hexachlorobenzene Releases from Magnesium Production in North America: Lesson's from Noranda's Magnola Project in Asbestos, Quebec*. Greenpeace, Canada

CCME (Canadian Council of Ministers of Environment). 2003. *Status of Activities Related to Dioxins and Furans Canada-Wide Standards*. CCME, Winnipeg.

www.ccme.ca/assets/pdf/d_f_sector_status_rpt_e.pdf.

Eurochlor. 2001. *Effect of Dioxins on Human Health*.
www.eurochlor.org/chlorine/issues/dioxins.htm.

European Commission. 2001. *Reference Document on Best Available Techniques in the Non-Ferrous Metals Industries*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain.

Hatch and Associates. 1995. *Addendum to Primary Non-Ferrous Smelting and Refining Sector in Canada: Magnesium*. Prepared for Environnement Canada

Hatch and Associates. 2003. *Binder N°1 Project Summary for Production Feasibility Study For Cogburn Magnesium Plant*. Prepared for Leader Mining International.
www.leadermining.com/Binder_N°1_Project_Summary.pdf.

Noranda Inc. *Noranda Magnesium – A production Breakthrough*.

Mynoranda.com/Noranda/magnesium/Introducing+Noranda+Magnesium/A+Production+Breakthrough/-A+Production.htm

Noranda Magnesium. *Magnesium Production Thermal Reduction–Pidgeon Process*

Norsk Hzdno. 2001. *Environmental report 2001. Light Metals Specific Values*
www.hzdno.com/de/global-commitment/environment/reports/light-metals-main.html.

Oehme M. Larssen S. and Brevik E.M 1991 Emissions Factors of PCDD/PCDF for Road Vehicles Obtained by a Tunnel Experiment. *Chemosphere* 23: 1699–1708.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2003. *Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases*. UNEP, Geneva.
www.pops.int/documents/guidance/Toolkit_2003.pdf.

VAMI (Russian National Aluminium Magnesium Institute). 2004. *Magnesium Production Process from Magnesium Oxide Resources*.
www.vami.ru/processes/magnesium/sposob_proizvod_magnia_is_oksidnogo_siria.htm

(iv) Production d'acier secondaire

Résumé

L'acier de fusion secondaire est produit par la fusion directe de ferraille utilisant des fours à arc électrique. Le four fait fondre et raffine une charge de ferraille d'acier pour produire des aciers au carbone, des alliages d'acier et de l'inox dans des aciéries non intégrées. Les charges de matériaux ferreux peuvent inclure des ferrailles telles que des véhicules broyés et des tournures métalliques, ou bien du fer réduit directement. En plus, la ferraille peut aussi être utilisée comme charge dans d'autres fours de fusion de fonderie, et dans les secteurs du fer et de l'acier.

Il semble que les produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm, tels que PCDD et PCDF, sont plus probablement formés, dans le procédé de fabrication d'acier à l'arc électrique, par une synthèse *de novo* à la suite de la combustion de matières organiques non chlorées comme les plastiques, le charbon et du carbone particulaire en présence de donneurs de chlore. Plusieurs de ces substances sont présentes à l'état de traces dans la ferraille d'acier ou bien font partie des matières premières, par exemple le carbone injecté.

Les mesures primaires incluent un traitement adéquat des gaz de procédé et un conditionnement approprié de ces gaz afin d'éviter de créer des conditions favorables à la synthèse *de novo* de PCDD/PCDF. Cela peut inclure des brûleurs de post-combustion, suivis d'une trempe rapide des gaz. Les mesures secondaires incluent l'injection d'adsorbants (par exemple, le charbon actif), et une extraction haute efficacité à l'aide de filtres en tissu.

Les niveaux de performance pour les émissions de PCDD/PCDF dans l'air, associés aux meilleures techniques disponibles, pour la production d'acier de deuxième fusion, sont $<0,1 \text{ ng/Nm}^3$ (aux concentrations opératoires d'oxygène).

1. Description de procédé

1.1 Description générale de procédé

La fusion directe de matériaux contenant du fer, comme de la ferraille, est normalement faite dans des fours à arc électrique, qui jouent un rôle important, et en augmentation, dans les aciéries modernes. Le four fait fondre et raffine une charge de ferraille pour donner des aciers au carbone, aciers alliés et de l'inox dans des aciéries non intégrées (acier secondaire).

Un four à arc électrique est une cuve cylindrique, avec un foyer réfractaire en forme de creuset et des électrodes qui s'abaissent depuis la voûte amovible en forme de dôme. Le four est revêtu à l'intérieur de briques réfractaires. Typiquement, les parois sont constituées de panneaux refroidis à l'eau, qui sont couverts pour minimiser la perte de chaleur. Les électrodes peuvent également être équipées de systèmes de refroidissement à l'eau.

L'élaboration de l'acier dans un four à arc électrique consiste en le chargement, la fusion, l'affinage, le décarburage et la coulée de la ferraille. En plus des ferrailles d'acier, la charge peut inclure de la fonte brute et des éléments nécessaires pour les alliages. Pendant que les ferrailles d'acier sont fondues, de la ferraille additionnelle peut être ajoutée dans le four. Le four à arc électrique produit de la chaleur en faisant passer un courant électrique entre les électrodes, à travers la charge dans le four. Cette énergie est complétée par du gaz naturel, de l'oxygène et d'autres combustibles.

D'autres technologies utilisées pour la fusion de matériaux à base de fer sont les fours cubilots (chaud et froid), les fours à induction, et les hauts fourneaux.

Les cubilots sont utilisés pour la production de fonte fer et acier. Ces fours sont des fours verticaux chauffés au coke, et sont chargés en discontinu avec les matières premières, ou parfois chargés en continu à l'aide de chutes vibrantes. La chaleur nécessaire pour la fusion de la charge est produite par la combustion de coke, et de l'air (chaud ou froid) introduit par des tuyères sur les cotés du four. La zone de fusion elle-même se trouve dans le tiers inférieur du four vertical. En ce qui concerne l'utilisation de la chaleur, l'opération est similaire à celles de poêles domestiques au charbon. La capacité de fusion dépend surtout du volume d'air qu'on insuffle pour la combustion, de la quantité de combustible et du diamètre du four (Quass, Fermann and Bröker 2000).

Les fours à induction sont de simples creusets ou canaux qui sont chauffés par une bobine électrique extérieure. Les fours à induction à canaux sont utilisés surtout pour la fusion d'objets de grande dimension. Le courant est induit dans le métal qui a été chargé, et de la chaleur est générée. Les fours peuvent être équipés de hottes pour l'extraction des fumées, et de systèmes pour réduire les poussières, qui peuvent être utilisés pendant les opérations de scorification et de coulée. La nécessité d'avoir accès au four pour le chargement et la coulée fait que l'on utilise souvent des hottes amovibles. Les hottes sont solides pour pouvoir résister aux impacts mécaniques. Autrement, une extraction efficace par un système fixe, ou par le rebord, est utilisée. L'efficacité de ce four peut être faible pour certains matériaux mais peut être améliorée, surtout si la charge est composée de petits morceaux. De plus grands objets peuvent être coupés pour améliorer l'efficacité, et aussi pour permettre une mise en place correcte des hottes de captage de fumée. Dans certains procédés en continu, on retient aussi un talon de métal fondu au fond du four, entre les chargements, si le fonctionnement le permet. Les fours peuvent aussi fonctionner sous vide, par exemple lorsqu'on fait fondre des super alliages, des aciers hautement alliés ou des métaux purs, et aussi dans certains cas pour une distillation des métaux. La température du four peut être contrôlée automatiquement pour minimiser la formation de fumées pendant la fusion de métaux volatiles ou oxydables, comme le zinc ou des alliages contenant du zinc. Ces fours sont aussi utilisés pour stocker le métal fondu en vue d'opérations d'alliage et de coulée. Le courant induit dans ces fours fait que le métal est agité de manière électromagnétique, ce qui favorise le mélange de la charge, et tout autre matériau d'alliage ajouté (European Commission 2001).

Un haut fourneau est un four vertical utilisant des tuyères pour injecter de l'air chaud ou froid dans la charge du four pour faire fondre le contenu. On charge aussi de la matière à fripper dans le haut fourneau, en couches alternées avec le coke.

1.2 Charge du four

Les matières premières principales pour le four sont des déchets métalliques, qui peuvent inclure des déchets ferreux venant de l'intérieur de l'aciérie (par exemple, des chutes de métaux), des morceaux coupés venant des fabricants de produits à base d'acier (par exemple, les fabricants de véhicules), et des produits intacts ou des déchets venant des consommateurs (par exemple, véhicules et appareils en fin de vie) (European Commission 2000). D'autres matières de charge sont des fondants, et des additions diverses comme des antioxydants ou des éléments d'alliage. On utilise de plus en plus du fer réduit directement en tant que charge, à cause non seulement de sa faible teneur en gangue, mais aussi des prix variables des déchets (European Commission 2000).

Des fondants sont ajoutés pour être combinés avec des matières indésirables et former une scorie. Les scories enlèvent les impuretés de l'acier (par exemple, silicium, soufre et phosphore) de l'acier fondu. On peut rajouter de l'oxygène au four pour accélérer le processus de formation d'acier. A la fin d'une campagne, le four bascule et on fait couler l'acier fondu.

1.3 Le four à arc électrique

De nombreuses aciéries augmentent leur productivité en utilisant le four à arc électrique pour la phase de fusion, ainsi qu'un atelier de métallurgie en poche pour l'affinage final et la préparation des alliages. Dans certains cas, la poche de coulée d'acier est envoyée vers une installation de dégazage sous vide, où l'on réduit la quantité de gaz dans l'acier fondu pour respecter les exigences de qualité.

L'acier en fusion venant du four à arc électrique, ou de l'atelier de métallurgie en poche, est coulé en continu par une machine de coulée pour donner des brames, billettes ou poutrelles. Dans certains procédés, le profilé coulé est coupé en longueur au chalumeau, et transporté chaud vers le laminoir pour être davantage travaillé. D'autres aciéries sont équipées de fours de réchauffe. Les billettes d'acier sont refroidies et sont ensuite réchauffées dans un four, avant d'être laminées en barres ou en d'autres profilés.

La production d'acier à partir de ferraille consomme considérablement moins d'énergie que la production d'acier à partir de minerais de fer (EPRI 1997). L'élaboration de l'acier par un four à arc électrique est une importante activité de recyclage, qui contribue à la récupération des ressources en acier et à la minimisation des déchets.

L'emploi de fours à arc électrique dans la production d'acier présente trois bénéfices majeurs: un coût en capital plus faible pour l'aciérie, un besoin énergétique significativement plus bas pour les aciéries intégrés par rapport à la méthode four à coke/haut fourneau/convertisseur à oxygène, et l'absence de la nécessité d'utiliser des fours à coke.

L'élaboration d'acier à partir de four à arc électrique est un procédé discontinu dynamique, avec des intervalles entre deux coulées d'acier d'une heure ou moins pour la fusion, sauf pour la production d'acier inoxydable et d'aciers spéciaux. Le procédé évolue constamment, depuis l'enlèvement de la voûte du four pour charger les ferrailles d'acier, jusqu'à la fusion de la ferraille, avec les émissions venant des contaminants dans la ferraille tels que des huiles et des plastiques, jusqu'à l'affinage, et enfin jusqu'à la

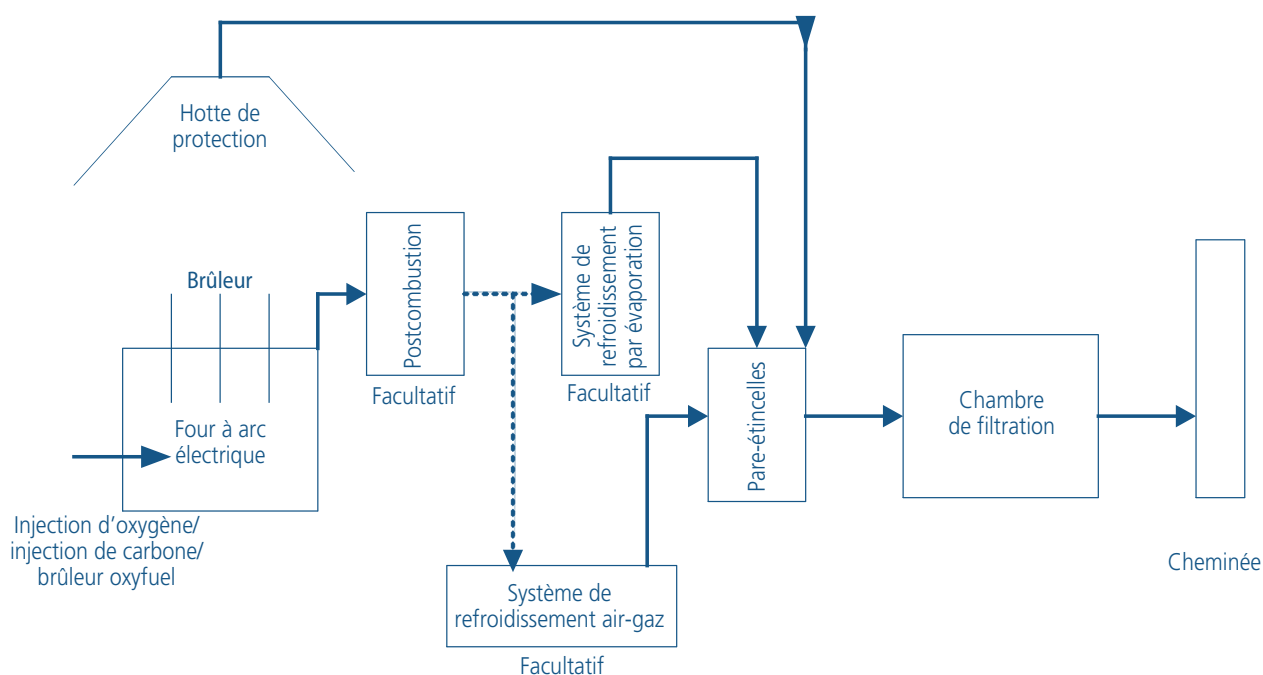
coulée de l'acier. Les conditions à l'intérieur du four à arc électrique, et les processus de combustion, varient tout au long du cycle de production de chaleur.

Au cours des dernières années, davantage de fours à arc électrique nouveaux et existants ont été équipés d'un système pour le préchauffage de la ferraille par les gaz émis, afin de récupérer l'énergie. La technologie dite «par tunnel » et le procédé Consteel, sont les deux systèmes éprouvés qui ont été introduits. Le système par tunnel peut être conçu pour réchauffer 100% de la ferraille (European Commission 2000).

Certains fours à arc électrique utilisent également un système de pulvérisation d'eau, ou de refroidissement par évaporation, pour refroidir les gaz chauds produits, et certains fours utilisent des échangeurs thermiques en amont du dispositif de contrôle des émissions. Les fours peuvent être équipés de dispositifs de contrôle de la pollution de l'air par voie sèche, quasi-humide ou humide. Les systèmes de purification des gaz semi-humides et humides peuvent générer des eaux usées.

La Figure 7 montre le four à arc électrique et un dispositif anti-pollution d'un dépoussiéreur à couche filtrante générique.

■ **Figure 7. Dispositif anti-pollution d'un four à arc électrique générique**



Source: William Lemmon and Associates Ltd 2004.

2. Sources de produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm

2.1 Emissions

2.1.1 Formation de PCDD/PCDF

L'élaboration d'acier dans des fours à arc électrique est un procédé discontinu, qui peut aboutir à des émissions variables durant le chauffage de la charge, et d'une charge à une autre. Les systèmes de traitement des gaz varient d'une aciérie à l'autre, tant en configuration qu'en conception. Ces facteurs mènent à des concentrations variables des gaz de procédé.

Pendant un procédé métallurgique à température élevée, des particules de matière contenant une fine fumée de métaux et d'oxydes métalliques se forment. Des dispositifs anti-pollution à haute efficacité sont nécessaires pour éliminer les fines particules de matière de ces dégagements gazeux.

Des composés organohalogénés aromatiques, y compris des dibenzo-*p*-dioxines polychlorées (PCDD), des dibenzofuranes polychlorés (PCDF), des chlorobenzènes et des polychlorobiphényles (PCB) peuvent se former suite au processus thermique, et ont été détectés dans les gaz qui se dégagent des fours à arc électrique. Les composés les plus importants de ce groupe de produits chimiques sont les PCDD/PCDF. Le préchauffage de la ferraille peut aboutir à de plus fortes émissions de composés organohalogénés aromatiques.

Un rapport intitulé *Research on Technical Pollution Prevention Options for Steel Manufacturing Electric Arc Furnaces* (William Lemmon and Associates Ltd. 2004), préparé pour le Canadian

Council of Ministers of the Environment, prend en compte le document du Programmes des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE): *Formation of PCDD/PCDF – An Overview* (UNEP 2003), et fournit une explication du mécanisme de base de la formation de PCDD/PCDF. Les informations tirées de ce rapport sont résumées ci-dessous:

Les mécanismes par lesquels les PCDD/PCDF se forment ne sont pas entièrement connus. La plupart des informations concernant ces substances lors des processus de combustion ont été obtenues à partir d'expériences en laboratoire, de systèmes à l'échelle pilote et d'incinérateurs de déchets municipaux.

Les PCDD/PCDF semblent être le plus probablement formés durant l'étape d'élaboration de l'acier à l'arc électrique, par une synthèse *de novo* pendant la combustion de matières organiques non chlorées, tels que le polystyrène, le charbon et des particules de carbone en présence de donneurs de chlore. Beaucoup de ces substances sont présentes à l'état de trace dans les ferrailles d'acier, ou bien se trouvent déjà dans les matières premières tel que le charbon injecté. La société Ohio Valley Aluminium Company (Ovaco) a fait remarquer qu'il est bien connu que

les émissions de PCDD/PCDF sont très faibles lorsque l'on utilise des ferrailles d'inox en tant que matière première, une fraction de celles trouvées dans d'autres fours à arc électrique, et se demande si cela peut être dû à des effets catalytiques de métaux présents dans les poussières (Ovaco 2006 communication).

Il existe un dualisme inhérent de formation et de déchloration de PCDD/PCDF, qui a lieu dans le même domaine de températures, et notamment dans les conditions présentes dans le four à arc électrique. En général, la déchloration de PCDD/PCDF semble se produire à des températures supérieures à 750°C, et en présence d'oxygène. Plus la température s'élève au-dessus de 750°C, plus le taux de déchloration augmente, plus le temps de séjour nécessaire diminue.

Une augmentation des concentrations en oxygène a pour conséquence de favoriser la formation de PCDD/PCDF. On ne sait pas si ce phénomène continue à des concentrations en oxygène élevées (par exemple, au-dessus de 10% d'O₂). Dans des conditions pyrolytiques (manque d'oxygène), la déchloration de PCDD/PCDF intervient à des températures supérieures à 300°C.

Certains métaux agissent comme des catalyseurs de formation de PCDD/PCDF. Le cuivre est un fort catalyseur et le fer en est un plus faible.

La condensation des PCDD qui sont le plus chlorés commence dans la fourchette de 125 – 60°C, et augmente très rapidement au fur et à mesure que la température baisse. Les PCDF qui sont le moins chlorés se condensent en dernier, la raison pour laquelle les tétra- et penta- PCDF constituent la majorité des PCDF lors des essais de contrôle des émissions des fours à arc électrique.

Les résultats des essais sur les émissions indiquaient des concentrations de PCDD/PCDF plus élevées quand la température du gaz sortant du système de conditionnement des gaz était constamment au-dessus de 225°C, indiquant que la synthèse *de novo* avait eu lieu dans le système de conditionnement des gaz.

Les PCDF comptaient régulièrement pour 60 – 90% de la concentration I-TEQ en PCDDD/PCDF, lors des essais de contrôle des émissions de four à arc électrique.

Deux congénères des furanes, 2,3,7,8-TCDF (tétrachlorodibenzofurane) et 2,3,4,7,8-TCDF, comptaient régulièrement pour 60 – 75% de la concentration I-TEQ en PCDDD/PCDF, lors des essais sur les émissions de four à arc électrique. Ces résultats sont comparables aux calculs de condensation théorique des PCDD/PCDF, car ces deux congénères se condenseraient en dernier, au fur et à mesure que la température des gaz baisse.

Ces dernières conclusions indiquent qu'il existe un mécanisme de formation des PCDD/PCDF prédominant, la synthèse *de novo*, lors du

procédé d'élaboration de l'acier par four à arc électrique. Il semble que les variations de concentration en PCDD/PCDF sont probablement dues aux variations dans la composition de la ferraille chargée, aux conditions variables dans le four résultant des changements de pratiques opératoires de campagne en campagne et d'aciérie à aciérie, aux conditions variables dans le système de conditionnement et de purification des gaz, et aux différences dans l'efficacité de captage des filtres à manche.

Les fours à induction exigent des charges de ferraille plus propres que celles que les fours à arc électrique peuvent tolérer, et font fondre leurs charges à l'aide de champs magnétiques. Bien qu'il y ait des similarités avec les fours à arc électriques, on s'attend à ce que la génération de dioxines et de furanes dans de telles unités soit notablement plus faible que pour les fours à arc électrique.

Concernant les émissions des cubilots utilisés dans les fonderies de fonte de fer et d'acier, une soumission allemande au *The European Dioxin Emission Inventory Stage II* (Quass, Fermann and Bröker 2000) a résumé les résultats d'une étude couvrant des données obtenues sur 25 cubilots à air froid situés en Allemagne. Les cubilots (aussi appelés cubilots à air froid ou à vent froid) ont été identifiés dans UNEP 2003b comme ayant un potentiel plus élevé que d'autres modèles, pour le rejet des émissions significatives:

«Pour les fonderies, il n'existe presque pas de données: des tests en Allemagne (SCEP 1994) ont montré que les fours cubilots et à induction équipés de filtres en tissu, avaient des émissions faibles dans l'air, et qu'un facteur d'émission de 0,03 µg TEQ/t de produit devrait être utilisé. Les fours cubilots froids donnaient des émissions plus élevées, et un facteur de 1 µg TEQ/t est utilisé pour ce type d'unité avec des filtres en tissu.

Des tests restreints sur des fours à tambour rotatif ont donné des facteurs encore plus élevés, et un facteur de 1 µg TEQ/t est appliqué aux installations utilisant des filtres en tissu pour le lavage des gaz. Dans le cas de fours cubilots ou à tambour rotatifs, utilisés sans filtres en tissus ou équivalant pour le lavage des gaz, un facteur d'émission plus élevé de 10 µg TEQ/t devrait être utilisé. Si l'on utilise des déchets de mauvaise qualité (contamination élevée) ou des fours mal contrôlés avec des systèmes de lavage des gaz autres que de filtres en tissu efficace, ceci devra être noté »

Le travail plus récent rapporté par Quass, Fermann and Bröker 2000 a focalisé sur des cubilots à air froid, bien contrôlés, fabriquant du fer pour des coulées, équipés de filtres en tissus pour le contrôle des particules. Cette étude indique que la fourchette d'émission recueillis pour 18 échantillons individuels allait de 0,003 à 0,184 ng I-TEQ/Nm³, et que les moyennes pour des séries de 3 essais pour quatre des six fours, étaient inférieures à 0,1 ng I-TEQ/Nm³ (la limite des émissions pour les incinérateurs de déchets municipaux). L'étude a permis de conclure que «Pour tous les fours étudiés, il a été trouvé un facteur moyen d'émission de 0,35 µg I-TEQ/t de fer fondu dans les fours

avec une valeur maximale atteignant 1,45 µg I-TEQ/t.» Les conclusions de ce chapitre de Quass, Fermann and Bröker 2000 étaient:

«En étudiant les concentrations trouvées dans les gaz produits, les fours cubilots à air froid fonctionnant dans les fonderies de fer et d'acier, ne peuvent pas être considérés comme étant des sources importantes de dioxines et de furanes, en se basant sur les quantités totales de PCDD et PCDF émises. Les résultats des mesures sont donc en accord avec les quelques données existant avant que les investigations ne commencent.

Il faut noter cependant que les émissions pour le North Rhine-Westphalia étaient extrapolées à partir de seulement 6 fours. On ne peut donc pas dire avec certitude que ces fours étaient représentatifs de tous les fours cubilots à air froid fonctionnant en Allemagne. Dans ce projet, on a identifié un four ayant des concentrations de PCDD et PCDF dans les poussières de filtres allant jusqu'à environ 12 µg I-TEQ/kg. Ce chiffre est notamment plus élevé que ceux obtenus dans des unités où les émissions ont été mesurées (les concentrations les plus élevées dans les poussières de filtre dans ces unités étaient de 0,4 µg I-TEQ). En plus, des variations assez élevées avec le temps ont été notées pour les concentrations de PCDD/PCDF dans les poussières venant des filtres. Donc, malgré une indication d'une corrélation positive entre les concentrations dans les poussières de filtre recueillies, et les concentrations dans les gaz de procédé – obtenues à partir de mesures – il n'est pas permis de supposer que cette corrélation puisse être extrapolée à des fours avec des concentrations plus élevées dans les poussières recueillies des filtres. Pour voir plus clair, il faudrait procéder à un nouveau programme d'étude qui permettrait, par exemple, des mesures des concentrations des PCDD/PCDD dans la poussière de filtre d'un four sur une période plus longue.

En se basant sur l'interdépendance des émissions de PCDD et de PCDF, et les quantités de déchets de fonte et de matériaux recyclés utilisées, on peut conclure que les contaminants collant aux déchets de fonte (résidus de peinture, huiles etc.) ont une influence sur les émissions. Pour réduire les concentrations de dioxines, une diminution des quantités de déchets de fonte utilisés serait judicieuse; ceci cependant réduirait considérablement la performance économique des fonderies. La question qui se pose est de savoir si certains contaminants dans les déchets de fonte jouent un rôle important dans la formation et les émissions des PCDD et PCDF. Si c'était le cas, il faudrait appliquer une élimination sélective au niveau des matières chargées.»

2.1.2 Etudes sur les PCDD/PCDF dans les fours à arc électrique

La plupart des études sur la formation et le contrôle des émissions de PCDD/PCDF ont été réalisées dans des fours à arc électrique en Europe. La première étude publiée a été effectuée par Badische Stahlwerke GmbH (BSW), à Kehl/Rhein en Allemagne, au début

des années 1990 (Weiss and Karcher 1996). Sous la pression des agences nationales de l'environnement, d'autres aciéries ont suivi l'initiative de BSW.

Voici un résumé des conclusions à propos des fours à arc électrique:

- Le projet de recherche de BSW a confirmé qu'une concentration élevée en hydrocarbures dans la ferraille d'acier augmentait de manière significative les émissions de composés organiques volatils et de PCDD/PCDF.
- Les résultats de programme de test sur les émissions de BSW, ProfilARBED, Differdange et Gerdau Ameristeel Cambridge, ont révélé que les concentrations de PCDD/PCDF dans les émissions sont plus fortes quand la température du gaz qui sort du système de conditionnement du gaz était régulièrement au-dessus de 225°C, indiquant que la synthèse *de novo* avait lieu dans le système de conditionnement des gaz.
- Les PCDF comptaient régulièrement pour 60 – 90% de la concentration I-TEQ en PCDD/PCDF, lors des tests sur les émissions de four à arc électrique au Canada. Des résultats similaires ont été trouvés lors d'essais sur les émissions de four à arc électrique en Europe.
- Deux congénères des furanes, 2,3,7,8-TCDF (tétrachlorodibenzofurane) et 2,3,4,7,8-TCDF, comptaient régulièrement pour 60 – 75% de la concentration I-TEQ en PCDD/PCDF, lors des essais sur les émissions de four à arc électrique au Canada. Des résultats similaires ont été publiés après des tests sur des émissions de four à arc électrique en Europe. Ces résultats sont comparables aux calculs de condensation théorique des PCDD/PCDF, car ces deux congénères se condenseraient en dernier au fur et à mesure que la température du gaz baisse.
- Les distributions de concentration I-TEQ des congénères, lors d'essais de contrôle des émissions de four à arc électrique au Canada, étaient similaires, sans rapport avec les concentrations totales I-TEQ en PCDD/PCDF.
- Les conclusions indiquent que la synthèse *de novo* est le mécanisme prédominant de formation des PCDD/PCDF dans les procédés d'élaboration d'acier par four à arc électrique.
- Il semble que les variations de concentration en PCDD/PCDF sont probablement dues aux variations dans les constituants de la ferraille d'alimentation, aux conditions variables dans le four résultant des changements de pratiques utilisées d'une opération à l'autre, et d'aciérie à aciérie, aux conditions variables dans le système de conditionnement et de nettoyage des gaz, et aux différences de rendement du captage des filtres à manches. Il n'y a pas suffisamment d'information publiquement disponible pour déterminer l'importance relative de ces facteurs.

Un rapport préparé par le Gouvernement du Japon a étudié la mise en œuvre de mesures définies dans ces directives, pour réduire les émissions de PCDD/PCDF et de polychlorobiphényles coplanaires dans les fours à arc électrique pour la fabrication d'acier, focalisant sur 19 usines sur un total de 38 producteurs d'acier non intégrés au Japon. Les concentrations des émissions ont été réduites d'environ 80% et 87,2% dans

les usines mettant en œuvre une seule mesure, tandis que des réductions de 96% ont été atteintes pour celles mettant en œuvre deux ou plus de ces mesures. Les concentrations des émissions ont été réduites de 84% en moyenne par rapport aux usines n'ayant appliqué aucune de ces mesures. La concentration moyenne était de 0,42 ng I-TEQ/Nm³. Deux usines (10% de toutes celles ciblées) ont atteint le niveau de performance possible, qui est inférieur à 0,1 ng I-TEQ/Nm³ (Government of Japan 2006).

2.1.3 Revue de la chimie de combustion des arcs électriques, et de la formation des PCDD/PCDF

Une revue de la relation entre la chimie de combustion par arc électrique, et la formation de PCDD/PCDF dans le four peut être résumée comme suit:

- Les PCDD/PCDF peuvent être formés par des précurseurs chlorés de la même famille, tels que les PCB, les phénols chlorés et les benzènes chlorés.
- L'environnement à l'intérieur d'un four à arc électrique est très complexe et varie constamment. La chimie de combustion produit des conditions qui favorisent la formation de PCDD/PCDF. Les hydrocarbures dans la ferraille qui alimente le four peuvent être vaporisés, craqués, brûlés partiellement ou complètement, selon les conditions dans le four ou dans des parties du four, pendant ou après le chargement. D'autres sources de carbone comprennent le carbone injecté et les électrodes en graphite. Les deux processus de formation et de déchloration de PCDD/PCDF peuvent se dérouler en même temps, si la concentration en oxygène et la température sont telles que certains congénères de PCDD ou de PCDF sont formés pendant que d'autres congénères sont déchlorés.
- Des études sur l'optimisation de la postcombustion interne indiquent qu'en situation normale de fabrication d'acier, des conditions favorables à la formation de PCDD/PCDF – atmosphère riche en oxygène, particules de carbone réactives et températures inférieures à 800°C – sont réunies dans les parties du four pendant, et probablement un peu après, la phase de fusion. Etant donné que des métaux agissant comme des catalyseurs sont présents, et que des traces de chlore peuvent être présentes dans certains matériaux de la charge et dans certains fondants, il semble que les conditions pour que la synthèse *de novo* ait lieu soient réunies. Puisque les conditions de mélange idéal ne prévalent pas, il semble qu'une partie des PCDD/PCDF formés sorte du four à arc électrique avec les gaz de dégagement, sans rencontrer des températures suffisamment élevées pour que leur déchloration ait lieu.
- La plupart des études sur la chimie de la combustion et la postcombustion interne dans les fours à arc électrique, dans le cas de l'acier, a visé à augmenter la productivité en exploitant les combustibles présents à l'intérieur du four – tels que les hydrocarbures, le monoxyde de carbone et l'hydrogène – pour remplacer l'énergie électrique par de l'énergie chimique, et ainsi réduire le total de l'énergie apportée, ce qui aboutit à des coûts de production par tonne de produit plus bas.
- Il se peut que le préchauffage de la ferraille se solde par des émissions élevées de composés chlorés aromatiques, tels que des PCDD/PCDF, des chlorobenzènes,

des PCB, ainsi que des hydrocarbures polycycliques aromatiques, et d'autres produits issus de la combustion incomplète de la ferraille contaminée par des peintures, des plastiques, des lubrifiants et d'autres composés organiques. La formation de ces polluants peut être minimisée par une postcombustion à l'intérieur du four (par opposition à la postcombustion externe des gaz de procédé), grâce à des brûleurs d'oxygène additionnels utilisés pour brûler le monoxyde de carbone et les hydrocarbures, ce qui permet de récupérer de l'énergie chimique. Il a été suggéré que le préchauffage de la ferraille augmente la quantité de matières organiques dans les gaz de cheminée, et peut-être aussi la formation de composés chlorés. Ce que deviennent les émissions dépend de la balance énergétique thermique totale du système de gaz de cheminée. Dans le cas d'Ovaco, un préchauffage de la ferraille fait décroître les émissions de PCDD/PCDF (et très probablement fait augmenter les émissions de produits organiques légers), à cause du fait que le préchauffage agit en tant qu'un refroidissement de gaz efficace; une température plus basse au filtre signifie que des produits organiques lourds sont séparés, avec les poussières.

- Il semble être indiqué que la postcombustion interne peut être une option plus séduisante que la postcombustion externe, pour limiter la formation des PCDD/PCDF.

2.2 Rejets de PCDD/PCDF par les déchets solides et les eaux usées

La plupart des aciéries dans le monde opèrent avec des fours à arc électrique, associés à des systèmes d'épuration des gaz par voie sèche (c-à-d, des filtres à poussières en tissu), qui ne produisent pas d'eau usée nécessitant un traitement.

Il se peut que certains fours à arc électrique existants soient équipés de dispositifs de contrôle de la pollution de l'air utilisant la voie semi-humide (European Commission 2000). Les systèmes par voie semi-humide arrosent les gaz qui se dégagent du four avec de l'eau, afin de les refroidir partiellement et de les conditionner avant l'extraction des particules dans un électrofiltre. Les aciéries sont capables d'obtenir une décharge zéro d'eaux usées à partir de systèmes semi-humide, en compensant l'eau apportée par l'eau qui s'évapore lors du traitement. L'eau de refroidissement qui n'est pas en contact avec les gaz fournit la majorité de l'eau nécessaire; toutefois, il se peut que certaines aciéries utilisent de l'eau de procédé traitée ainsi que de l'eau industrielle (EPA 2002).

Les normes en vigueur dans certaines juridictions considèrent une décharge zéro en eau usée comme étant la meilleure technique disponible pour les systèmes de purification des gaz par voie quasi-sèche.

Dans quelques pays de l'Union Européenne, des systèmes d'épuration des gaz par voie humide sont utilisés dans un certain nombre d'aciéries pour laver les gaz qui se dégagent des fours à arc électrique. Cependant, aucune information concernant les quantités d'eaux usées produites dans ces unités, ni les méthodes de traitement de ces eaux, n'est disponible (European Commission 2000). Par conséquent, aucune conclusion n'a pu être tirée concernant les meilleures techniques disponibles pour traiter, et minimiser, les rejets de PCDD/PCDF des eaux usées venant des systèmes humides de contrôle de la pollution de l'air.

Il a été trouvé que les résidus sous forme de poussières provenant des dispositifs de contrôle de la pollution de l'air par voie sèche, contenaient des traces de PCDD/PCDF dans le cas des fours à arc électrique.

3. Améliorations du procédé par four à arc électrique, et procédés alternatifs pour la fabrication d'acier au four électrique

3.1 Améliorations du procédé

Le procédé de fabrication d'acier à arc électrique a connu des changements au cours des dernières décennies. La recherche et le développement sur les procédés de fabrication d'acier dans des fours à arc électrique, notamment en Europe, se focalisent sur les améliorations de la conception du four, afin d'augmenter la productivité et le rendement énergétique, et aussi pour réduire les coûts de fabrication.

Il existe deux motivations principales qui jouent dans ce secteur– la réduction des coûts de fabrication, illustrée par la productivité accrue, et l'accroissement de la qualité du produit, illustré par les exigences en matière d'exigences de qualité fixées par l'industrie automobile. Il y a aussi une troisième: les pressions écologiques. Les améliorations de productivité ont abouti à des intervalles plus courts entre deux coulées, à un rendement énergétique plus élevé, et à une utilisation plus poussée de l'énergie chimique.

Les exigences en matière de qualité ont été prises en compte à travers la sélection de la ferraille, les techniques d'exploitation du four, et l'utilisation accrue de procédés auxiliaires tels que la métallurgie en poche et le dégazage sous vide. Parmi les pressions écologiques on peut mentionner la nécessité de réduire les émissions de PCDD/PCDF, et de réduire aussi la présence de substances qui sont des précurseurs pour la formation de brouillards denses (*smog* en anglais), par exemple des particules fines. Une option pour les aciéries concernées est d'utiliser une ferraille de meilleure qualité, avec des concentrations en contaminants plus faibles (William Lemmon and Associates Ltd. 2004).

Une seconde option est de remplacer une partie de la ferraille du chargement par du fer de réduction directe, ou des produits similaires qui sont fabriqués à partir de minerai de fer et qui ont des concentrations en contaminants plus faibles que les ferrailles d'acier de plus mauvaise qualité. La production commerciale de fer par réduction directe se développe et le marché international est en croissance; cette plus grande disponibilité peut signifier que certains aciéristes utilisant des fours à arc électriques ont la possibilité d'acheter ces matières, plutôt que de les fabriquer sur le site. Il existe très peu d'information disponible sur les émissions de PCDD/PCDF à partir de procédés de réduction directe du fer, mais étant donné les caractéristiques du procédé, les émissions de PCDD/PCDF sont probablement très limitées. Il n'y a pas d'information disponible sur la formation et les émissions de PCDD/PCDF, par l'utilisation d'éponges de fer dans l'élaboration d'acier par four à arc électrique.

Une troisième option est l'utilisation de métal chaud dans le procédé à l'arc électrique. Il est prévu que cette option prendra de l'importance, puisque les aciéristes s'efforcent d'obtenir des cycles de traitements thermiques plus courts, et des productivités plus élevées (Fruehan 1998). Il n'y a pas d'information disponible concernant l'impact de cette option sur les émissions de PCDD/PCDF. Avec un préchauffage d'une partie de la ferraille, il est possible d'économiser environ 60 kWh/t; dans le cas d'un préchauffage de toute la ferraille, on peut économiser jusqu'à 100 kWh/t d'acier liquide. L'applicabilité du préchauffage de la ferraille dépend des circonstances locales, et sa validité doit être démontrée sur chaque site individuellement.

Les améliorations apportées aux procédés de fabrication d'acier à l'arc électrique ont souvent des bénéfices additionnels, y compris la diminution des quantités de particules et des émissions de PCDD/PCDF, sauf dans le cas du préchauffage de la ferraille, comme il a été mentionné ci-dessus. Le but d'adopter des techniques d'exploitation de pointe est normalement d'augmenter le rendement opérationnel et énergétique, afin d'accroître la productivité et par conséquent accroître la production et réduire les coûts opérationnels.

3.2 Procédés alternatifs

Aucune technologie d'élaboration d'acier ne remplacerait le four à arc électrique pour les aciéries opérant à des niveaux de production élevés. Bien que d'autres matériaux d'électrode aient été employés pour quelques fours dans le passé, il n'y a actuellement pas d'alternative à l'électrode de graphite.

4. Mesures primaires et secondaires

Les mesures primaires et secondaires pour réduire les émissions de PCDD/PCDF pour les fours à arc électrique sont passées brièvement en revue dans cette section. La majeure partie de ce texte vient de William Lemmon and Associates Ltd. 2004. Certaines de ces mesures concernent les fours cubilots et les fours à induction.

L'importance des réductions d'émissions qu'il est possible d'obtenir grâce à l'application des seules mesures primaires est difficile à évaluer. La mise en œuvre des mesures primaires et secondaires, dans les aciéries nouvelles et anciennes, est probablement nécessaire pour obtenir les niveaux d'émissions désirés. Un cas d'étude d'une aciérie à arc électrique ayant amélioré ses systèmes de prévention et de contrôle de la pollution est fourni par Finlay and Peng, 2006.

Il devrait être possible pour les aciéries d'appliquer certaines ou toutes les mesures de lutte anti-pollution mentionnées ci-dessous.

4.1 Mesures primaires pour les émissions

Les mesures primaires, souvent appelées les techniques de lutte anti-pollution, sont capables d'éviter, de supprimer ou de minimiser la formation de PCDD/PCDF, ou bien de déchlorer les PCDD/PCDF lors du procédé d'élaboration d'acier par four à arc électrique.

Comme mesure générale, une partie intégrante du programme de lutte anti-pollution d'une aciérie devrait inclure les meilleures pratiques pour l'environnement, le fonctionnement, et l'entretien, pour toutes les opérations et aspects du procédé de fabrication d'acier par four à arc électrique.

La liste suivante présente un choix d'options pour les mesures primaires; il se peut que certaines ne soient pas applicables dans toutes les aciéries, et que certaines nécessitent une étude plus poussée. Cette liste de techniques a été élaborée sur la base de travaux faits sur des aciéries à arc électrique, et bien qu'on s'attende à ce que plusieurs des mêmes principes soient valables pour les fours cubilots et à induction, elles n'ont pas été explicitement proposées pour ces applications. A noter cependant que le fait que la plupart des résultats des tests obtenus soient inférieurs à 0,1 ng I-TEQ/Nm³, indique qu'une combinaison de ces mesures, et des mesures secondaires listées ci-dessous, devraient être efficace pour limiter les émissions.

4.1.1 Qualité des matières premières

La majeure partie des matières premières utilisées lors du procédé d'élaboration d'acier par four à arc électrique est constituée de ferraille d'acier. Des contaminants, comprenant des huiles, des plastiques et d'autres hydrocarbures, sont souvent présents dans la ferraille. Les procédures de lutte anti-pollution pour empêcher ou minimiser l'entrée de contaminants dans le four à arc électrique comprennent: des changements dans les spécifications des matériaux, des programmes améliorés de contrôle de la qualité, des changements dans les types de matières premières utilisées (par exemple, une limitation des déchets huileux, ou un nettoyage de tels matériaux) et des programmes pour empêcher l'entrée de contaminants.

4.1.2 Conduite d'un four à arc électrique

Des changements récents, qui ont été adoptés dans les techniques de conduite de four arc électrique afin d'augmenter les rendements opérationnel et énergétique, semblent avoir des bénéfices additionnels dans la réduction des PCDD/PCDF ou, sous certaines conditions, pour déchlorer les PCDD/PCDF. Des procédures de réduction de la pollution qui semblent réduire les émissions de PCDD/PCDF comprennent: la minimisation de la durée d'ouverture de la voûte nécessaire au chargement, la réduction des infiltrations d'air dans le four, et la prise de mesures pour éviter ou minimiser les retards opérationnels. La condensation des PCDD/PCDF augmente rapidement à des températures inférieures à 125°C, en commençant par les dioxines fortement chlorées.

4.1.3 Conception du système de conditionnement des gaz produits

Le conditionnement des gaz produits par le procédé inclut le captage, le refroidissement et l'envoi par conduits, des gaz avant leur épuration dans une unité de filtration. Les conditions du système de conditionnement des gaz peuvent conduire à la formation de PCDD/PCDF par synthèse *de novo*, à moins que le plus grand soin soit pris pour éviter les conditions menant à cette synthèse. Les techniques de réduction de la pollution comprennent un système dimensionné convenablement, l'optimisation du mélange des gaz, le refroidissement rapide des gaz en dessous de 200°C et le développement et l'application de bonnes pratiques d'exploitation et de maintenance.

4.1.4 Système de contrôle continu des paramètres

L'utilisation d'un système de contrôle continu des paramètres, basé sur l'optimisation des paramètres appropriés pour l'opération du système de conditionnement du gaz, ainsi que des procédures écrites d'exploitation et de maintenance, devrait permettre de minimiser la formation de PCDD/PCDF par synthèse *de novo* dans le système de conditionnement des gaz.

4.2 Mesures secondaires pour les émissions

Les mesures secondaires, souvent appelées techniques du contrôle de la pollution, peuvent être résumées comme suit:

4.2.1 Captage des poussières des gaz de dégagement

Le captage de tous les gaz de dégagement, y compris les émissions fugitives, de la zone du four à arc électrique, est une partie importante du système de contrôle. Le rendement de la filtration des poussières des émissions primaires et secondaires venant du four devrait être optimisé par une combinaison gaz/hottes, ou par une combinaison niche d'enfournement/hotte, ou encore en installant un système d'évacuation pour tout le bâtiment.

4.2.2 Extracteurs de poussières à filtres en tissu (ou filtres à manches)

Une partie des PCDD/PCDF dans les gaz venant du four à arc électrique s'adsorbent sur les poussières fines. Au fur et à mesure que la température du gaz baisse à travers la température de condensation des divers congénères des PCDD/PCDF, il y aura davantage de PCDD/PCDF qui s'adsorbent sur les poussières fines, ou bien qui se condensent en formant de fines particules de matière. Les filtres en tissu bien conçus et bien utilisés permettent d'atteindre moins de 5 mg de poussière/Nm³, pour les nouvelles aciéries. En minimisant les quantités de poussière on minimise aussi les émissions de PCDD/PCDF.

4.2.3 Système de post-combustion externe couplé à une trempe rapide à l'eau

Cette technique était la technique de base initiale pour contrôler les émissions de PCDD/PCDF dans les procédés de fabrication de l'acier à l'arc électrique. Les systèmes de postcombustion externe étaient à l'origine développés pour la combustion du monoxyde de carbone (CO) et de l'hydrogène (H₂) présents dans les gaz du four, dans une chambre de combustion à revêtement en réfractaires, généralement avec du combustible supplémentaire. Par la suite un certain nombre d'aciéries européennes, équipées de fours à arc électrique, ont adopté la technologie de post-combustion externe afin de déchlorer les émissions de PCDD/PCDF, en maintenant la température de post-combustion au-dessus de 800°C. Cette technique de contrôle des émissions n'est pas capable de respecter constamment la norme de 100 pg TEQ/Nm³ (0,1 ng TEQ/Nm³) en vigueur dans tout le Canada. Il se peut qu'il ne soit pas possible pour certaines aciéries d'installer des systèmes de post-combustion externes, et d'améliorer leurs systèmes de conditionnement des gaz, à cause des considérations spécifiques au

site concernant l'espace disponible. Pour certains fours, une post-combustion interne, dans le four, pourrait être efficace pour éviter les émissions de PCDD/PCDF.

4.2.4 Injection d'agent adsorbant

Cette technique de contrôle a été développée à l'origine pour contrôler les émissions de PCDD/PCDF dans les incinérateurs de déchets. La technologie d'injection de coke de lignite calibré (le charbon actif est un adsorbant similaire) est utilisée dans un certain nombre d'aciéries européennes, équipées de fours à arc électrique, pour compléter la technologie des filtres à manches, afin d'obtenir des concentrations en émissions de PCDD/PCDF constamment basses. Cette technique réduit également les émissions de mercure. Des résultats obtenus avec des essais effectués sur les émissions dans des aciéries européennes équipées de fours à arc électrique ont été publiés, et indiquent que cette technique, combinée à des manches à filtres haute performance, atteint constamment des concentrations en émissions de PCDD/PCDF inférieures à 0,1 ng TEQ/Nm³.⁴ D'autres techniques pourraient cependant être efficaces pour réduire les émissions à ces niveaux.

Le coke de lignite calibré est injecté dans les gaz en amont des filtres à manche. Le coke (ou le charbon actif) adsorbe les PCDD/PCDF dans les gaz du procédé. Il est nécessaire d'avoir un bon mélange du coke avec les gaz, et un calibrage approprié du coke (du même ordre de grandeur que les particules du flux gazeux), pour obtenir une élimination optimale des PCDD/PCDF.

Le coke de lignite calibré, et le charbon actif, ne libèrent pas les PCDD/PCDF adsorbés aux températures normales d'entreposage et de décharge, et résistent à la lixiviation. L'utilisation du coke de lignite calibré comme agent adsorbant augmente le volume de poussière des filtres à manches de 2%.

On devrait envisager l'utilisation de systèmes d'injection de charbon actif ou de coke calibré dans les aciéries pour réduire les émissions de PCDD/PCDF. Il se peut que les considérations particulières aux sites telles que le manque d'espace disponible, la configuration des systèmes de contrôle des émissions existants, et les impacts en matière de coût, influenceront la possibilité d'utiliser cette technique.

4.3 Mesures primaires et secondaires pour les déchets solides et les eaux usées

Les mesures dans cette section s'appliquent généralement aux fours à arc électrique, à induction et aux cubilots. En ce qui concerne les déchets solides, les crasses du four à arc électrique et la poussière captée devraient être recyclées autant que possible. Il faudrait que la poussière récupérée provenant de la production d'acier fortement allié soit traitée, afin de récupérer les métaux de valeur lorsque cela est possible. Les déchets solides en excès devraient être détruits d'une manière écologiquement rationnelle.

Ovaco a fait remarquer que la mise en décharge de poussières provenant des fours à arc électrique n'est plus autorisée dans la plupart des pays industrialisés. La méthode standard est la récupération des métaux à valeur dans un procédé (ou procédés) de traitement séparé, à l'extérieur de l'aciérie. Si des déchets d'inox sont utilisés en tant que matière première, on peut récupérer le chrome, nickel, zinc et plomb; autrement (pour

la majeure partie de la poussière) on ne sépare que le zinc et le plomb. La teneur en dioxine mesurée dans la poussière d'Ovaco est d'environ 1'300 pg I-TEQ/g et représente 96% de la quantité totale synthétisée dans leur procédé. En conséquence, les poussières des fours à arc électrique pourraient représenter un réservoir significatif de PCDD/PCDF, et devraient être gérées de manière appropriée en tant que déchet, pour leur emballage et élimination.

En ce qui concerne les eaux usées, l'utilisation de systèmes de refroidissement à l'eau en circuit fermé dans certaines zones du four à arc électrique, permet de ne pas avoir de sources d'effluents aqueux, ou de recycler l'eau au maximum pour minimiser le volume à traiter.

Des systèmes de contrôle des émissions par voie semi-sèche peuvent être utilisés dans certaines aciéries. Bien que le remplacement par des capteurs de poussière à voie sèche soit l'option souhaitable, les systèmes par voie semi-sèche peuvent être conçus pour qu'il n'y ait pas de production d'eaux usées.

Dans les installations qui utilisent des systèmes d'épuration humides, des eaux usées peuvent être générées. L'approche souhaitable est le remplacement des systèmes existants par des extracteurs de poussière à voie sèche. Si le remplacement des systèmes de contrôle des émissions en place n'est pas possible, les eaux usées devront être traitées. Cependant, on n'a pas trouvé des normes de qualité du traitement des eaux usées concernant les niveaux de rejet des PCDD/PCDF ou d'autres paramètres.

5. Résumé des mesures

Les Tableaux 13 et 14 présentent un résumé des mesures considérées dans les sections précédentes.

■ **Tableau 13. Mesures pour les nouveaux fours à arc électrique**

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Mis au point du procédé	On devrait privilégier les configurations les plus récentes de procédé, sur la base des performances au niveau du procédé et des émissions	Un exemple est une installation avec une postcombustion interne pour un nouveau four à arc électrique	
Exigences des performances	La juridiction applicable devrait imposer aux nouveaux fours à arc électriques d'atteindre des niveaux de performances, et de déclaration de résultats très strictes	Il faudra tenir compte des mesures primaires et secondaires dont la liste est donnée au Tableau 14, en particulier le dimensionnement approprié des systèmes de ventilation, et utilisation avec entretien approprié de filtres en tissu haute performance.	Les limites d'émissions atteignables sont: <0,1 ng TEQ/Nm ³ pour PCDD/PCDF

■ **Table 14. Mesures pour des fours à arc électrique nouveaux et existants**

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Mesures primaires			
Pratiques générales d'opération	Une partie intégrale du programme de prévention de pollution de l'installation devrait inclure les meilleures pratiques environnementales et d'entretien, pour toutes les opérations et tous les aspects du procédé de fabrication de l'acier par four à arc électrique	Applicables en général; font partie d'un concept intégré pour la prévention de la pollution	
Qualité des matières premières	Nécessité de passer en revue les matières premières, et d'identifier les apports de substitution et/ou les procédures, permettant de minimiser des apports indésirables. Des procédures écrites devront être développées et mises en œuvre pour effectuer les changements appropriés	Applicable en général. Les mesures comprennent des changements dans les spécifications pour les matériaux, des programmes de contrôle de qualité améliorés, des changements dans les types des matières premières (tels que d'éviter les ferrailles contenant de l'huile) et des programmes pour éviter l'entrée de contaminants	
Opération de fours à arc électrique	Réduction du temps pendant lequel l'installation est ouverte pour le chargement, réduction des entrées d'air dans le four, et soins pris pour éviter et minimiser les retards opérationnels	Un avantage supplémentaire est la réduction des PCDD/PCDF	D'autres polluants sont réduits, y compris les organohalogénés aromatiques, le CO, les hydrocarbures et les gaz à effet de serre

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Traitement des gaz d'échappement	<p>Le choix et installation d'un système de traitement des gaz bien dimensionné, basé sur des paramètres optimisés, devraient éviter ou minimiser la formation de PCDD/PCDF dans le système de traitement des gaz.</p> <p>Le développement et la mise en œuvre de procédures écrites d'opération et d'entretien devraient permettre l'optimisation du système de traitement des gaz</p>	<p>On estime qu'il y a une relation entre une réduction dans la synthèse <i>de novo</i> dans le système de traitement des gaz, et un refroidissement rapide des gaz produits à des températures en dessous de 225° à 200°C</p>	
Suivi continu des paramètres	<p>On utilisera un système de suivi en continu des paramètres, tel que le Continuous Opacity Monitors (COMs) ou le Bag Leak Detection (BLD) pour assurer un fonctionnement optimisé l'opération du procédé</p> <p>Les opérateurs devront préparer un plan de suivi sur le site pour le système de mesure des paramètres en continu, et maintenir des registres qui montre le respect de ce plan</p>	<p>Il faut établir des corrélations entre les valeurs des paramètres et les émissions des cheminées (fonctionnement stable).</p> <p>Les paramètres sont ensuite suivis de manière continue et comparés aux valeurs optimales</p>	<p>Les systèmes peuvent être équipés d'avertisseurs et de mesures correctives, qui entreront en jeu quand des écarts significatifs se manifestent</p>

Mesures secondaires

Les mesures secondaires suivantes peuvent effectivement réduire les rejets de PCDD/PCDF, et servent d'exemples des meilleures techniques disponibles

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Captage des gaz produits	On devra maximiser l'efficacité de récupération des poussières des émissions primaires et secondaires venant du four à arc électrique, par un système combiné gaz d'échappement/calotte, ou niche à chien/calotte, ou en construisant un système d'évacuation d'air	Les systèmes de ventilations dans les ateliers des fours à arc électrique devront être dimensionnés correctement, pour assurer l'extraction des émissions du procédé à l'intérieur du bâtiment, et le transport vers le système de contrôle de la pollution de l'air.	On peut atteindre une efficacité de 98% ou plus, pour la récupération des poussières
Filtres en tissu	<p>Des filtres en tissu bien conçus permettent de faibles émissions de poussière.</p> <p>Des procédures devront être développés pour l'opération et l'entretien des collecteurs de poussières de filtre, pour optimiser et améliorer la performance de captage, y compris l'optimisation des cycles de nettoyage des matériaux des filtres à manches et des pratiques d'entretien préventive.</p> <p>Un système de suivi continu de la température et d'avertissement devrait être mis en place pour suivre la température des gaz à l'entrée du système de contrôle des émissions.</p> <p>Un système de détection de fuites, qui pourraient se produire dans la manche, devrait être mis en place, accompagné de procédures écrites pour l'opération et la maintenance permettant de répondre aux avertissements venant du système de suivi.</p>	Il existe des corrélations entre les émissions PCDD/PCDF et celles des poussières. A des températures de gaz différentes, les PCDD/PCDF seront absorbés et adsorbés sur les poussières fixées sur le tissu du filtre. Des filtres à manche qui sont bien dimensionnés, utilisés, entretenus et suivis sont capables d'émissions de poussières <5 mg/Nm ³ .	<p>En maintenant les gaz dans les filtres à manche en dessous de 60°C, on évitera l'évaporation des PCDD/PCDF, et on augmentera l'extraction des PCDD/PCDF associés à la poussière. Il faudra gérer la poussière recueillie de manière approprié, en tenant compte des polluants y contenue.</p> <p>En enfermant les zones d'extraction des poussières des filtres, et les points de transfert, on minimisera les pertes fugitives de poussières</p> <p>En utilisant des systèmes de ventilation dimensionnés et fonctionnant de manière appropriée, on réduira les risques pour les opérateurs d'une exposition aux polluants.</p>

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Post-combustion des gaz de procédé	<p>La formation de PCDD/PCDF peut être minimisée par une post-combustion dans le système de conduit des gaz d'échappement ou dans une chambre séparée de post-combustion.</p> <p>Il semblerait qu'une post-combustion interne serait une option plus attractive qu'une post-combustion externe, pour éviter la formation des PCDD/PCDF.</p>		<p>Les PCDD/PCDF qui auront été formés dans le procédé, participent à des réactions de déchloration pendant que les gaz de procédé brûlent dans les brûleurs à oxygène supplémentaires.</p> <p>Cette technique, avec une trempe rapide à l'eau, est une des premières techniques de contrôle des émissions des PCDD/PCDF, appliquée à la fabrication de l'acier par four à arc électrique</p>
Injection d'absorbants	<p>L'injection de charbon actif ou d'autres matières d'adsorption similaires, dans les flux de gaz de procédé en amont des filtres en tissu haute efficacité dans les fours à arc électrique dans des aciéries en Europe, a permis d'atteindre systématiquement de niveaux faibles d'émission de PCDD/PCDF, selon des données obtenues sur des projets pilote</p>		

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Réduction de la génération de déchets solides	<p>Les scories des fours à arc électrique et les poussières de filtre devraient être recyclées autant que possible.</p> <p>Les poussières de filtre venant de la fabrication d'aciers fortement alliés peuvent être traitées, lorsque cela est possible, pour en récupérer des métaux de valeur.</p> <p>Les meilleures pratiques de gestion devront être développées et mises en œuvre pour le transport et la manipulation des déchets qui génèrent des poussières.</p> <p>Des déchets solides en excès devraient être éliminés par des méthodes écologiquement rationnelles</p>		
Réduire les effluents aqueux	<p>Les systèmes de refroidissement par eau en circuit fermé pour les composants de fours à arc électrique évitent la génération d'effluents aqueux.</p> <p>Recycler l'eau usée autant que possible.</p> <p>L'eau résiduaire devra être traitée.</p> <p>On peut adapter les systèmes semi-secs de contrôle de la pollution de l'air, pour qu'il ait une décharge zéro d'eaux usées en excès.</p> <p>Des eaux usées provenant de systèmes humides de traitement des gaz devront être traitées avant leur décharge dans l'environnement.</p>	<p>Ces mesures primaires seraient surtout associées aux pratiques générales de prévention et de contrôle de la pollution, plutôt que d'être appliquées spécifiquement, ou seulement, pour les besoins de réduction des PCDD/PCDF</p>	<p>Il n'a pas été trouvé de normes au sujet des limites de PCDD/PCDF pour des eaux usées rejetées en tant qu'effluent final des systèmes humides d'épuration</p>

6. Niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles

Un niveau de performance associé aux meilleures techniques disponibles pour les émissions dans l'air des PCDD/PCDF venant des unités de fabrication d'acier secondaire et des fonderies de fer et d'acier, est $<0,1 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$ (aux concentrations opérationnelles d'oxygène)

Références

EPA (United States Environmental Protection Agency). 2002. *Development Document for Final Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Iron and Steel Manufacturing Point Source Category*. EPA, Washington, D.C. epa.gov/waterscience/ironsteel/pdf/tdd/complete.pdf.

EPRI (Electric Power Research Institute). 1997. *Understanding Electric Arc Furnace Operations*. EPRI, Centre for Materials Production, Palo Alto, California.

European Commission. 2000. *Reference Document on Best Available Techniques for the Production of Iron and Steel*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es.

European Commission. 2001. *Reference Document on Best Available Techniques in the Non-Ferrous Metals Industries*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es.

Finlay, P.G., and Peng, H. 2006, Environment Canada, «*Steelmaking electric arc furnace facility-Upgrade of pollution prevention and control systems: Case Study*» prepared for UNEP Expert Group on BAT/BEP for UPOPs, Draft unpublished presentation made in Geneva, Switzerland, 21 November, 2006

Finlay, P. G., and Smith. K. 2006, Environment Canada, «Implementation of best available techniques and best environmental practices in Canada's National Action Plan for unintentional Persistent Organic Pollutants», Draft unpublished presentation made in Kyoto, Japan, 29 September 2006.

Fruehan R.J. (ed.) 1998. *The Making, Shaping and Treating of Steel* 11th Edition: *Steelmaking and Refining* Vol. AISE Steel Foundation, Pittsburgh, PA.

Government of Japan. 2006. *Report on the PCDD/PCDF/CO-PCB Reduction Measures for the Steel Manufacturing Electric Arc Furnaces in Japan, and the Consequent Effects*.

Quass U., Fermann M. and Bröker G. 2000. *The European Dioxin Emission Inventory Stage II Vol. 2: Desktop Studies and Case Studies*. Report prepared by North Rhine Westphalia State Environment Agency on behalf of European Commission, Directorate General for Environment. europa.eu.int/comm/environment/dioxin/pdf/stage2/volume_2.pdf.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2003a. *Formation of PCDD/PCDF: An Overview*. Draft. UNEP/POPS/EGB.1/INF/5. UNEP Chemicals, Geneva. www.pops.int/documents/meetings/.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2003b. *Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases*. UNEP, Geneva. www.pops.int/documents/guidance/Toolkit_2003.pdf.

Weiss D. and Karcher A. 1996. *Evaluation and Reduction of Dioxin and Furan Emissions from Thermal Processes: Investigation of the Effect of Electric Arc Furnace Charge Materials and Emission Control Technologies on the Formation of Dioxin and Furan Emissions*. Prepared for BSW.

William Lemmon and Associates Ltd. 2004. *Research on Technical Pollution Prevention Options for Steel Manufacturing Electric Arc Furnaces*. Final Report. Prepared for the Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), Contract No. 283-2003.
www.ccme.ca/assets/pdf/df_eaf_p2_ctxt_p2_strtgy_e.pdf.

(v) Première fusion des métaux de base

■ Résumé

La première fusion des métaux de base comprend l'extraction et le raffinage de nickel, plomb, cuivre, zinc et cobalt. Généralement, les installations de première fusion des métaux de base traitent des concentrés de minerais. La plupart des fondeurs primaires concernés ont la compétence technique pour rajouter au concentré primaire de départ, des matériaux secondaires (par exemple, des recyclables).

La première fusion des métaux de base comprend l'extraction et le raffinage de nickel, plomb, cuivre, zinc et cobalt. Généralement, les installations de première fusion des métaux de base traitent des concentrés de minerais. La plupart des fondeurs primaires concernés ont la compétence technique pour rajouter au concentré primaire de départ, des matériaux secondaires (par exemple, des recyclables).

Les techniques de production peuvent inclure des procédés pyro-métallurgiques et hydrométallurgiques. On pense que les substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm ont leur origine dans des procédés thermiques métallurgiques haute température; on ne considéra donc pas les procédés hydro-métallurgiques dans cette section sur les meilleures techniques disponibles pour la première fusion des métaux de base.

Les données disponibles sur les émissions de PCDD et de PCDF provenant d'une variété de sources (par exemple, incinérateurs, fours à arc électrique pour l'acier, installations de frittage de fer) suggèrent que les technologies et techniques des procédés, et les traitements de gaz associé, peuvent influencer la formation, puis le rejet des PCDD/PCDF. Il faudrait prendre en compte les possibilités des procédés hydro-métallurgiques, lorsque cela est techniquement et économiquement faisable, comme alternatives aux procédés pyro-métallurgique quand on considère des propositions pour la construction et la mise en service de nouvelles installations ou procédés pour la fusion de métaux de base.

Les mesures primaires comprennent l'utilisation de procédés hydro-métallurgiques, le contrôle de qualité des matières premières et des déchets métalliques, pour minimiser les contaminants pouvant mener à la formation des PCDD/PCDF, le contrôle effectif du procédé pour éviter les conditions pouvant mener à la formation de PCDD/PCDF, et l'utilisation de technologies de fusion flash. Des mesures secondaires identifiées comprennent un lavage des gaz haute efficacité et la conversion du dioxyde de soufre en acide sulfurique, un système haute performance de captage des gaz, et une élimination efficace des poussières.

Un niveau de performance pour les émissions des PCDD/PCDF dans l'air, associé aux meilleures techniques disponibles pour les installations de fusion des métaux de base est $<0,1 \text{ ng TEQ/Nm}^3$ (aux concentrations opérationnelles d'oxygène).

1. Description de procédé

Les procédés techniques utilisés dans l'extraction et le raffinage de métaux de base (nickel, plomb, cuivre, zinc et cobalt) se passent généralement comme il est indiqué à la Figure 8. Les technologies clés pour la récupération des métaux utilisées pour la fabrication et le raffinage des métaux peuvent être classées comme suit:

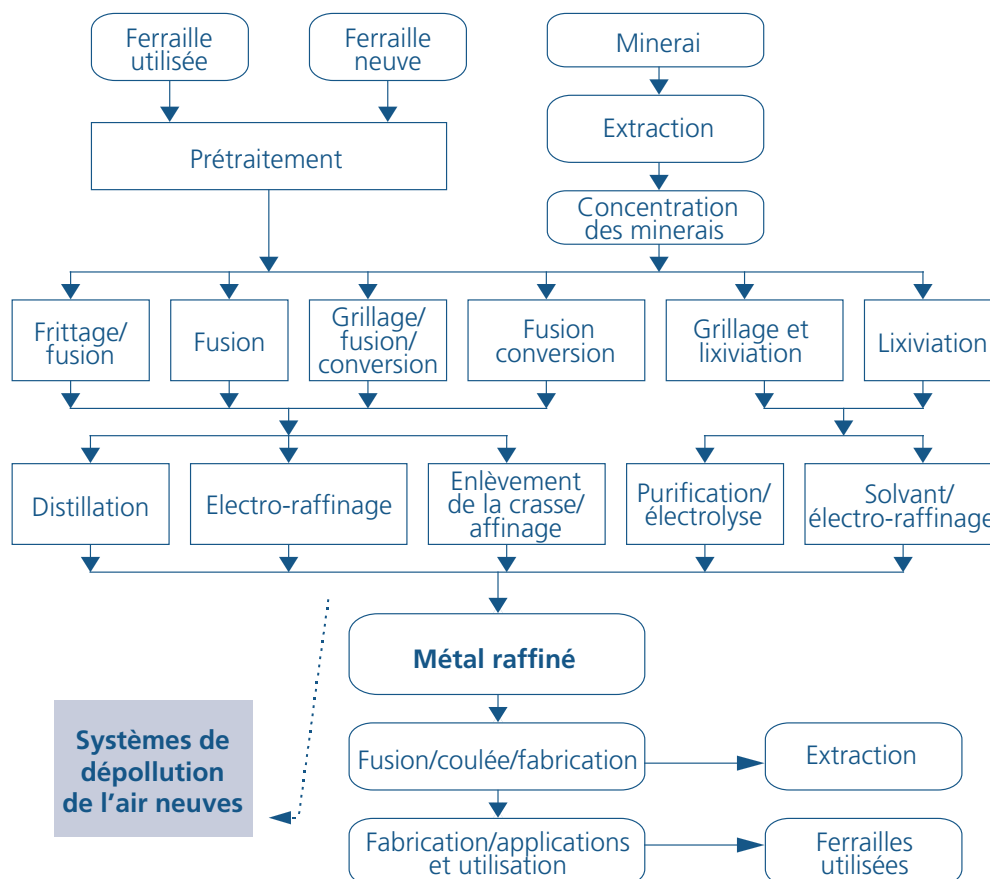
1. Les technologies pyro-métallurgiques utilisent de la chaleur pour séparer les métaux recherchés des matériaux indésirables. Ces procédés exploitent les différences des métaux dans le potentiel d'oxydation, le point de fusion, la tension de vapeur, la densité et la miscibilité quand on les fait fondre;
2. Les technologies hydro-métallurgique utilisent des différences dans la solubilité et les propriétés électrochimiques des constituants en solution aqueuse acide pour séparer les métaux recherchés des matériaux indésirables;
3. Les technologies dites «vapo-métallurgiques» s'appliquent au procédé carbonyle d'Inco par lequel les alliages de nickel sont traités au monoxyde de carbone gazeux pour former le carbonyle de nickel.

En général, les installations de première fusion des métaux de base traitent des concentrés de minerais. La plupart des fonderies spécialisées de la première fusion disposent des compétences techniques pour rajouter au concentré primaire de départ, des matériaux secondaires (par exemple, des recyclables).

La Figure 8 donne un schéma de procédé générique indiquant les procédés principaux de fabrication, associés à la première fusion et au raffinage.

On pense que les substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm ont leur origine dans des procédés thermiques métallurgiques haute température; on ne considéra donc pas les procédés hydro-métallurgiques dans cette section sur les meilleures techniques disponibles pour les procédés de fusion de métaux de base primaires.

■ **Figure 8. Diagramme schématique de la première fusion des métaux de base**



Dans les pays en voie de développement, et avec des économies en transition, ce sont de petites entreprises à un niveau artisanal qui poursuivent des activités de récupération des métaux. Ces procédés artisanaux peuvent être des sources significatives de pollution, avec un impact négatif sur la santé de la population. Les métaux qui sont connus pour être produits par de petites entreprises et par des méthodes artisanales incluent: aluminium, cuivre, or, fer, plomb, manganèse, mercure, étain, tungstène, argent et zinc. Ces activités n'ont pas normalement des systèmes de contrôle de la pollution, et pourraient être des sources de substances inscrites à l'Annexe C.

Bien que l'on ne considère pas les activités de récupération de métaux comme des meilleures techniques disponibles, ou des meilleures pratiques environnementales, il est conseillé, au minimum, de mettre en place des systèmes de ventilation et de manipulation de matériaux appropriés afin de minimiser l'exposition de l'homme aux polluants résultant de ces activités.

2. Sources des produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm

Les installations de première fusion de métaux de base peuvent représenter des sources de substances chimiques inscrites à l'Annexe C. La formation et le rejet de telles substances, à partir d'unité de première fusion, ne sont pas bien compris, et il a été démontré que les émissions de dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD) et de

dibenzofuranes polychlorés (PCDF) peuvent varier de manière significative entre des opérations utilisant des procédés similaires.

2.1 Rejet vers l'air

2.1.1 Information générale sur les émissions venant de procédés de fusion de métaux de base

«Les problèmes principaux dans la production de la plupart des métaux non ferreux à partir de matières premières primaires, sont les émissions possibles dans l'air de poussières et de métaux/substances métalliques, et aussi de dioxyde de soufre si l'on effectue des grillages et la fusion de concentrés aux sulfures, ou si l'on utilise des combustibles contenant du soufre, ou d'autres matériaux. Le captage du soufre, et sa conversion ou élimination, sont donc des facteurs importants dans la production de métaux non ferreux. Les procédés pyro-métallurgiques sont des sources potentielles de poussières, de fumées fugitives, ainsi que de métaux venant des fours, des chenaux et des poches, pendant le transfert de métaux en fusion» (European Commission 2001).

2.1.2 Emissions de PCDD et PCDF

«Il n'y a que des informations limitées disponibles sur les mécanismes de formation des dioxines/furanes dans le secteur de la fusion des métaux de base, dont la plupart sont basées sur l'expérience européenne des sociétés exploitant des procédés de fusion secondaire de métaux de base. Il a été constaté que les dioxines et furanes pourraient se trouver dans certaines des matières premières utilisées dans la seconde fusion de métaux de base, et que les huiles et des matériaux organiques sont présents dans beaucoup de ces matières premières. La présence d'huile et d'autres matériaux organiques dans la ferraille, ou d'autres sources de carbone (des combustibles partiellement brûlés et des réducteurs tels que le coke), peuvent mener à la production de particules fines de carbone, qui réagissent avec des chlorures inorganiques ou avec du chlore lié à des molécules organiques, dans la gamme de température de 250 à 500°C, pour produire des dioxines et furanes. Ce processus est connu sous le nom de synthèse *de novo*, et dépend de la présence de catalyseurs, tels que le cuivre et le fer. Bien que les dioxines et les furanes soient détruites à température élevée (au dessus de 850°C) en présence d'oxygène, la synthèse *de novo* est encore possible lorsque les gaz sont refroidis» (Charles E. Napier Co. Ltd. 2002).

Les informations disponibles sur les émissions des PCDD et PCDF dans un certain nombre de secteurs (par exemple, incinérateurs, four à arc électrique pour l'acier, unités de frittage de fer), suggèrent que les technologies et techniques, et aussi les systèmes de traitement des gaz associés, peuvent avoir une influence sur la formation puis le rejet des PCDD/PCDF.

Des installations canadiennes de fusion et de raffinage de métaux de base, ont entrepris des tests sur les émissions de PCDD et de PCDF; les résultats de ce travail montrent que les niveaux des concentrations variaient avec le type de système de traitement des gaz utilisé.

Les fonderies au Canada traitent généralement des concentrés de sulfures, et dans quelques installations traitent également quelques matériaux secondaires. Les techniques de traitement des gaz de procédé vont d'un lavage poussé (par exemple, dépoussiérage haute efficacité) avec conversion en acide sulfurique, au dépoussiérage par filtre en tissu, et au dépoussiérage par électrofiltre. Ces unités produisent du nickel, du cuivre, du plomb, du zinc et des métaux qui sont des produits associés. Onze installations ont participé à ce programme de test canadien, et environ 20 tests d'émission ont été effectués sur 16 sources différentes. Il n'y a avait pas deux installations avec la même combinaison et configuration des procédés de fabrication, et des systèmes de traitement des gaz, ce qui a compliqué encore plus les analyses possibles. Les observations ci-après ont donc un caractère général.

Lorsque les gaz de procédé étaient nettoyés (c'est-à-dire: dépoussiérage, lavage), et traités dans une unité acide pour convertir les gaz riches en dioxyde de soufre (SO₂) en acide sulfurique, les résultats des tests sur les émissions ont montré des concentrations en dessous de 5 pg (0,005 ng) TEQ/m³.⁵

Lorsque les gaz étaient dépoussiérés par des filtres à manches, les concentrations se trouvaient typiquement à des niveaux de quelques pg TEQ/m³ à <30 pg TEQ/m³.

Lorsque les gaz étaient dépoussiérés par électrofiltres, les niveaux de concentration étaient dans la fourchette d'environ 30 pg TEQ/m³ à environ 500 pg TEQ/m³.

2.2 Rejets vers d'autres milieux

Il n'a pas été trouvé d'information sur les rejets de substances chimiques inscrites à l'Annexe C pour les fonderies primaires de métaux de base, vers les milieux autres que l'air. Cependant il est probable que ces substances se trouvent dans des effluents liquides des épurateurs humides, ainsi que dans quelques poussières et résidus d'épurateur venant des systèmes de réduction de la pollution de l'air.

3. Procédés alternatifs pour la fusion de métaux de base

En tenant compte des provisions de la Convention de Stockholm, et lorsqu'on considère des propositions pour la construction d'une nouvelle installation de fusion de métaux de base, une priorité devrait être accordée à des techniques ou procédés alternatifs qui présentent une utilité similaire mais qui évitent la formation et le rejet des substances identifiées.

Comme il est indiqué en Figure 8, une grande variété de procédés est utilisée dans la production primaire de métaux de base par fusion. Les procédés utilisés pour fabriquer des métaux de base bruts, ou raffinés à partir de sources primaires, dépendront dans une large mesure de la disponibilité des minerais ou concentrés (par ex. minerais latérite ou à base de sulfure), et d'autres considérations (par ex. les propriétés des métaux

recherchés, les propriétés des matières premières, les sources de combustible et d'énergie disponibles, la capacité et des considérations économiques).

On considère que la formation et le rejet de substances chimiques inscrites à l'Annexe C est le résultat d'opérations thermiques métallurgiques à haute température. On devrait prendre en compte des procédés hydro-métallurgiques (par exemple: lixiviation, extraction électrochimique), lorsque c'est techniquement possible, comme des alternatives aux procédés pyro-métallurgiques (par exemple, le grillage, la fusion, la conversion, le raffinage au feu) lorsqu'on est amené à étudier des propositions pour la construction et la mise en service des nouvelles installations, ou de procédés pour la fusion des métaux de base.

4. Mesures primaires et secondaires

Il manque d'information sur le rejet des substances chimiques inscrites à l'Annexe C, dans le cas d'opérations de fusion primaires des métaux de base. On n'a pas identifié de techniques qui s'appliqueraient spécifiquement au secteur de la première fusion des métaux de base, et qui empêcheraient ou contrôleraient la formation et le rejet non-intentionnel de PCDD/PCDF et d'autres substances chimiques inscrites à l'Annexe C. Les mesures qui suivent constituent des mesures générales qui pourraient mener à une réduction des émissions de polluants dans des installations de première fusion des métaux de base, y compris les rejets de PCDD/PCDF.

L'étendu des possibilités pour la réduction des émissions, en mettant en œuvre uniquement des mesures primaires, n'est pas vraiment connu. Il est donc recommandé que l'on considère la possibilité de mettre en œuvre les deux séries de mesures, primaire et secondaires.

4.1 Mesures primaires

Les mesures primaires sont considérées comme des mesures de contrôle de la pollution qui empêcheraient ou minimiseraient la formation et le rejet des substances identifiées, à savoir, PCDD, PCDF, hexachlorobenzène (HCB) et les polychlorobiphényles (PCB). Celles-ci sont appelées quelque fois des mesures d'optimisation, ou d'intégration de procédé. La prévention de la pollution est définie comme: «*L'utilisation de procédés, de pratiques, de matériaux ou d'énergie qui évitent ou minimisent la création de polluants et de déchets, et qui diminuent les risques globaux pour la santé des hommes ou de l'environnement.* » (Voir section III.B de ces directives).

Des mesures primaires qui pourraient aider à réduire la formation et le rejet d'émissions de polluants incluent:

4.1.1 L'utilisation de procédés hydro-métallurgiques

L'utilisation de procédés hydro-métallurgiques, plutôt que des procédés pyro-métallurgiques quand possible, est un moyen important pour éviter des émissions. Des unités d'électrolyse en circuit fermé contribueront à empêcher la pollution.

4.1.2 Contrôle de qualité des matières premières (ferrailles)

La présence d'huile, de plastiques et de composés chlorés devraient être évitée dans la ferraille qui est utilisée comme matière première, afin de réduire la génération de PCDD/PCDF lors d'une combustion incomplète, ou par une synthèse *de novo*. Les matières premières devraient être classées suivant leur composition et contaminants possibles. On pourra réduire les possibilités de formation de PCDD/PCDF par une sélection et une ségrégation, qui permettront d'éviter l'addition de matériaux qui sont contaminés par des matières organiques ou par des précurseurs. Le stockage, la manipulation et les techniques de prétraitement seront déterminés selon la distribution et la contamination des matières premières.

Des méthodes à prendre en considération sont (European Commission 2001, p.232):

1. Mélange suffisant des matériaux pour fournir une alimentation homogène, afin d'obtenir des conditions stables de fonctionnement.
2. Elimination de l'huile des matières premières (par exemple, traitement thermique pour enlever les revêtements, et traitement de déshuilage, suivis de brûlage, pour détruire toute matière organique dans les gaz produit);
3. Utilisation d'un broyage et d'un concassage, avec une bonne extraction des poussières, ainsi que des mesures anti-pollution. Les particules obtenues peuvent être traitées pour en récupérer les métaux de valeur, à l'aide de séparations pneumatiques ou basées sur la densité;
4. Elimination des plastiques en enlevant l'isolation des câbles (par exemple, utilisation possible de la cryogénie pour rendre le plastique friable, et plus facile à enlever et à séparer);

4.1.3 Contrôle effectif du procédé

Il faudrait utiliser des systèmes de contrôle de procédés pour maintenir une bonne stabilité du procédé, et pour assurer un fonctionnement à des valeurs de paramètres qui contribueront à minimiser la génération des PCDD/PCDF, par exemple en maintenant la température du four au-dessus de 850 °C pour détruire les PCDD/PCDF. Idéalement, les émissions de PCDD/PCDF seraient suivies en continu pour assurer des rejets réduits. On a des exemples d'un suivi des émissions de PCDD/PCDF en continu dans quelques secteurs (par exemple, incinération des déchets), mais la recherche continue dans ce domaine. En l'absence d'un suivi en continu des PCDD/PCDF, d'autres variables telles que la température, le temps de résidence, la composition des gaz et des contrôles des clapets de collecte de fumées devraient être suivies en continu et maintenues pour assurer des conditions optimales de fonctionnement permettant de réduire les PCDD/PCDF.

4.1.4 Utilisation de la technologie flash pour la fusion

La méthode la plus efficace pour prévenir la pollution est de choisir un procédé qui demande moins d'énergie et qui produit les émissions les plus faibles. Lorsqu'il s'agit de techniques pyrométallurgiques, l'utilisation de la technologie flash pour la fusion, plutôt

que des technologies plus anciennes (par exemple, grilleurs, hauts fourneaux), est un moyen intéressant pour réduire la consommation d'énergie et les émissions. La fusion flash donnera aussi une concentration élevée de dioxyde de soufre dans les gaz de procédé, ce qui permettra la fixation effective du soufre, ou la récupération du dioxyde de soufre avant le rejet des gaz.

4.1.5 Optimisation de la teneur en SO₂ pour la fixation du soufre

Une mesure générale consiste à faire fonctionner le procédé de telle manière à ce que la concentration du SO₂ dans les gaz de procédé soit optimisée (lorsqu'on traite des minerais à base de sulfures ou des concentrés). Il est important donc de choisir un procédé qui utilise de l'air enrichi en oxygène (ou de l'oxygène pur) pour faire augmenter la teneur en SO₂ dans le flux de gaz de procédé, et pour réduire le volume total du flux, permettant ainsi une bonne fixation du SO₂.

4.2 Mesures secondaires

Par mesures secondaires on entend des technologies ou techniques de contrôle de la pollution qui sont des traitements en fin de procédé, en anglais: *end of pipe*.

Des mesures secondaires qui peuvent contribuer à réduire la formation et le rejet d'émissions de polluants, comprennent:

4.2.1 Lavage haute efficacité des gaz et conversion de SO₂ en acide sulfurique

Pour les gaz de procédé riches en SO₂ (typiquement 5% ou plus), générés par le traitement pyrométallurgique de minerais de sulfure ou concentrés, on considère qu'un pré-lavage haute efficacité des gaz de procédé, suivi d'une conversion de SO₂ en acide sulfurique, représentent ensemble les meilleures techniques disponibles pour ce type de source. Les concentrations des émissions de PCDD/PCDF lorsqu'on utilise cette combinaison de techniques sont <0,005 ng TEQ/m³.

Pour la conversion en acide sulfurique, on considère que la meilleure technique disponible est un procédé à double contact et double absorption. Une usine à double contact et double absorption ne devrait pas émettre plus que 0,2 kg de SO₂ par tonne d'acide sulfurique produit (basé sur une efficacité de conversion de 99,7%) (World Bank 1998).

Les gaz de procédé riches en SO₂, venant de l'installation de fusion, passent à travers une ligne de lavage des gaz comprenant typiquement un dépoussiérage poussé, avant l'unité de conversion en acide sulfurique.

Cette combinaison de techniques présente l'avantage additionnel de contrôler les poussières et les émissions de SO₂, en plus des PCDD/PCDF.

D'autres techniques de fixation du soufre qui peuvent nécessiter un pré-lavage des gaz de procédé avant la conversion ou la récupération, peuvent potentiellement contribuer à la minimisation des émissions de PCDD/PCDF (World Bank 1998). Ces techniques comprennent:

1. La récupération en tant que dioxyde de soufre sous forme dissoute dans l'eau (l'absorption du gaz de procédé propre et sec dans l'eau, ou absorption par le bisulfite d'ammonium ou le diméthyle aniline);
2. La récupération en tant que soufre élémentaire, à l'aide de réducteurs tels que des hydrocarbures, du carbone ou de l'acide sulfhydrique. Normalement, avec cette technique, la teneur en soufre dans le gaz est encore trop élevée par rapport à ce qui est acceptable. Les conditions de réduction sont favorables aussi pour la formation de dioxines. Après la récupération donc, le gaz devra subir une post-combustion, et un traitement comme une épuration.

4.2.2 Captage des fumées et des gaz

Les émissions vers l'air devraient être contrôlées à toutes les étapes du procédé: la manipulation des matériaux, la fusion, et les points de transfert des matériaux, afin de suivre les émissions de PCDD/PCDF. Des fours scellés sont essentiels pour contenir les émissions volatiles, tout en permettant la récupération de chaleur et aussi celle des gaz de procédé pour un recyclage dans le système. Les hottes et tuyauteries doivent être bien conçues pour arrêter toutes les fumées. Des enceintes pour le four ou le réacteur seront peut-être nécessaires. S'il n'est pas possible d'effectuer une extraction ou de contenir les gaz, le four devrait être entouré d'une enceinte permettant d'extraire l'air de ventilation, de le traiter puis le refouler. On devrait éviter de capter les fumées au niveau du toit à cause des besoins élevés en énergie de cette technique. L'utilisation de clapets de contrôle des fumées intelligents peut améliorer le taux de captage des fumées et réduire les dimensions des ventilateurs, d'où un gain en coûts. En utilisant des wagons de chargement, ou des bennes scellés avec un four à réverbère, on peut réduire de manière significative les émissions fugitives vers l'air, en contenant les émissions pendant le chargement (European Commission 2001, p. 187–188).

L'utilisation de fours à réverbère décroît constamment à cause de la difficulté de contrôler les émissions, et aussi des coûts associés élevés. Il est difficilement imaginable que d'autres fours à réverbère soient maintenant construits.

4.2.3 Extraction haute efficacité des poussières

Le procédé de fusion génère de grands volumes de matières particulaires ayant des grandes surfaces sur lesquelles les PCDD/PCDF peuvent être adsorbés. Il faudrait enlever ces poussières, et aussi les composés métalliques, afin de réduire les émissions de PCDD/PCDF. Des techniques de captage de grande efficacité devraient être utilisées, comme par exemple des filtres en céramique, des filtres en tissu haute performance, ou une ligne de lavage des gaz, avant le passage dans une unité d'acide sulfurique.

On donnera une préférence aux filtres en tissus plutôt qu'à des systèmes de lavage humide, à des électrofiltres humides, ou à des électrofiltres chauds pour le contrôle des poussières. La poussière générée par l'équipement de contrôle des poussières devrait être réinjectée dans le procédé. La poussière qui est réinjectée, ou recueillie, devrait être traitée dans des fours haute température pour détruire les PCDD/PCDF, et pour récupérer les métaux, de préférence en recyclant la poussière dans le procédé. On

éliminera la poussière qui est récupérée, mais pas recyclée, dans une décharge sécurisée ou par une autre méthode acceptable.

Les opérations impliquant les filtres en tissu devraient être suivies en continu par des dispositifs permettant de détecter des défaillances dans les filtres à manche.

5. Recherche récente

La réduction catalytique sélective s'est avérée efficace pour le contrôle des émissions d'oxydes d'azote (NOx) dans un nombre de procédés industriels. Il a été démontré que la réduction catalytique sélective modifiée (c-à-d, avec une surface réactive augmentée), et certains procédés catalytiques, peuvent décomposer les PCDD et PCDF contenus dans les gaz, probablement par des réactions d'oxydation catalytique. Ceci peut être considéré comme une technologie qui évolue toujours, avec un potentiel intéressant pour réduire effectivement des émissions de polluants organiques persistants venant des opérations de fusion de métaux de base, et pour d'autres applications. L'oxydation catalytique peut cependant être sensible, selon la sélection du catalyseur, à un empoisonnement par des métaux en trace, et d'autres contaminants présents dans les gaz. Des travaux de validation seraient nécessaires avant utilisation de ce procédé.

6. Résumé des mesures

Les Tableaux 15 et 16 présentent un résumé des mesures considérées dans les sections précédentes.

■ **Tableau 15. Mesures pour de nouvelles opérations de fusion primaires de métaux de base**

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Procédés alternatifs	On devrait considérer en priorité des procédés alternatifs avec potentiellement des impacts plus faibles sur l'environnement que les procédés de fusion basée sur la pyro-métallurgie	Les procédés hydrométallurgiques représentent un moyen important pour prévenir les émissions. On a fait remarquer qu'on devrait considérer la lixiviation directe à l'air des concentrés des sulfures (concentrés Fe _x à Zn) Des installations d'électrolyse en circuit fermé contribueront à a prévention de la pollution	
Exigences de performance	De nouvelles fonderies de métaux de base devraient atteindre des performances élevées de performance, et de présentation de résultats, associées aux meilleures techniques disponibles	On devrait considérer les mesures primaires et secondaires, dont la liste est donnée au Tableau 16	Les performances nécessaires pour arriver aux spécifications devraient prendre en considération les limites atteignables pour les niveaux d'émission des PCDD/PCDF identifiées à la sous-section 7 ci-dessous

■ **Tableau 16. Résumé des mesures primaires et secondaires pour les opérations de première fusion des métaux de base**

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Mesures primaires			
Utilisation de procédés hydrométallurgiques	L'utilisation de procédés hydrométallurgiques plutôt que pyrométallurgiques quand possible, comme un moyen important pour éviter des émissions. Des unités d'électrolyse en circuit fermé contribueront à éviter la pollution	L'utilisation de procédés hydro-métallurgiques dépendra beaucoup des minerais et des concentrés à traiter (par exemple, latérite ou sulfures) La combinaison de l'hydrométallurgie et de la pyro-métallurgie, nouvelle technologie pour le nickel et cuivre, pourrait présenter un potentiel pour la fusion du zinc	

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Contrôle de qualité des matières premières (ferrailles)	La sélection et le tri, pour éviter l'introduction de matériaux contaminés avec des matières organiques ou des précurseurs, peuvent aider à réduire la probabilité de former des PCDD/PCDF	<p>Les méthodes à prendre en considération sont:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elimination de l'huile présente dans les matières premières (par ex. enlèvement des revêtements et des huiles par traitement thermique, suivi d'un post-brûlage pour détruire toute matière organique dans les gaz de procédé) • Utilisation de techniques de broyage et de concassage associées à une bonne filtration et réduction des poussières. Les particules qui en résultent peuvent être traitées pour en récupérer des métaux de valeur, à l'aide de séparations pneumatiques ou basées sur la densité • Elimination des plastiques en enlevant l'isolation des câbles (par ex. des techniques cryogéniques pour rendre les plastiques friables et faciles à séparer) • Un mélange suffisant des matériaux pour produire des matières premières homogènes, afin de créer des conditions stables, est peut-être la première priorité 	

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Contrôle efficace du procédé	Des systèmes de contrôle de procédé devraient être utilisés pour assurer la stabilité du procédé, et pour permettre un fonctionnement à des valeurs de paramètres qui contribueront à la minimisation de la formation des PCDD/PCDF. Dans l'absence de suivi en continu des PCDD/PCDF, d'autres variables telles la température, le temps de résidence, la composition des gaz et des contrôles des clapets de collecte de fumée devraient être suivies en continu, et maintenues, pour établir des conditions optimisées pour la réduction des PCDD/PCDF	Par exemple, les températures des fours devraient être maintenues au-dessus de 850°C pour détruire les PCDD/PCDF	
Utilisation de la technologie flash pour la fusion	Lorsque des techniques pyrométallurgiques sont utilisées, l'emploi de technologies de fusion flash plutôt que d'autres plus anciennes (par ex. grilleur, haut fourneau) est un moyen intéressant pour réduire la consommation d'énergie et les émissions	La fusion flash donne aussi des concentrations élevées de SO ₂ dans le flux des gaz du procédé, ce qui permet de fixer de manière efficace, ou de récupérer le SO ₂ avant le rejet des gaz	

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Optimiser la teneur en SO ₂ pour la fixation du soufre	<p>Cette mesure générale met en jeu l'opération de procédés d'une manière qui maximise la concentration de SO₂ dans le flux de gaz produits (lorsqu'on traite des minerais aux sulfures ou des concentrés) pour permettre la récupération ou la fixation du soufre.</p> <p>La préférence sera donnée aux procédés qui utilisent de l'air enrichi en oxygène (ou de l'oxygène pur) pour augmenter la teneur en SO₂ des flux de gaz de procédé et pour réduire le volume total de ce flux</p>		

Mesures secondaires

Les mesures suivantes peuvent effectivement réduire les émissions de PCDD/PCDF, et doivent être considérées comme exemples des meilleures techniques disponibles

Nettoyage haute performance des gaz, et conversion du SO ₂ en acide sulfurique	Des gaz riche en SO ₂ , un pré-lavage haute performance des gaz de procédé, suivi de la conversion de SO ₂ en acide sulfurique sont les approches qui devraient être utilisées, et sont considérées comme des meilleures techniques disponibles	Cette combinaison de techniques présente l'avantage additionnel de contrôler les émissions des poussières et du SO ₂ , en plus de celles des PCDD/PCDF	Les concentrations des émissions de PCDD/PCDF en utilisant un lavage haute efficacité et la conversion du SO ₂ en acide sulfurique sont <0,005 ng I-TEQ/m ³
Captage des fumées et des	Les émissions dans l'air devraient être contrôlées à tous les stades du procédé: manipulation des matériaux, la fusion, et les points de transfert des matériaux afin de pouvoir contrôler les émissions de PCDD/PCDF		

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Extraction haute efficacité des poussières	<p>On devrait enlever les poussières et les composés métalliques pour réduire les émissions de PCDD/PCDF. Des techniques très performantes de récupération des poussières devraient être utilisées, par exemple: filtres céramiques, filtres en tissu haute performance, ou une ligne de lavage des gaz avant l'unité d'acide sulfurique.</p> <p>La poussière venant de l'équipement de contrôle des poussières devrait être réinjectée dans le procédé.</p> <p>La poussière retournée/collectée doit être traitée dans des fours haute température, pour détruire les PCDDPCDF et récupérer les métaux.</p> <p>Les filtres en tissu doivent être suivis par des dispositifs permettant de détecter des défaillances dans leur fonctionnement</p>	<p>On donnera la préférence aux filtres en tissus plutôt qu'aux systèmes de lavage humides, les filtres électrostatiques humides, ou les filtres électrostatiques chaud pour le contrôle des poussières.</p> <p>La poussière qui est récupérée, mais non recyclée, doit être éliminée dans une décharge sécurisée ou d'une autre manière acceptable</p>	

7. Niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles

Un niveau de performance pour les émissions dans l'air de PCDD/PCDF associé aux meilleures techniques disponibles pour les fonderies de première fusion des métaux de base, est $<0,1 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$ (aux concentrations opératoires d'oxygène).

Références

Charles E. Napier Co. Ltd. 2002. *Generic Dioxin/Furan Emission Testing Protocol for the Base Metals Smelting Sector*. Prepared for Environment Canada.

European Commission. 2001. *Reference Document on Best Available Techniques in the Non-Ferrous Metals Industries*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es.

World Bank. 1998. *Pollution Prevention and Abatement Handbook 1998: Toward Cleaner Production*. Chapters on copper, nickel, lead and zinc smelting. www-wds.worldbank.org/servlet/WDS_IBank_Servlet?pcont=details&eid=000094946_

Autres sources

Gunson A.J. and Jian Y. 2001. *Artisanal Mining in The People's Republic of China*. Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD), International Institute for Environment and Development (IIED), September 2001.

UNEP (United Nations Environment Programme). UNEP News Centre. www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=284&ArticleID=3204&I=en, as read on 20 January 2006.

Xinbin F., Guangle Q., Guanghui L., Ping L. and Shaofeng W. 2005. «Mercury Emissions from Artisanal Zinc and Mercury Smelting in Guizhou, PR China.» *Goldschmidt Conference Abstracts 2005: The Geochemistry of Mercury* p. A705.

Xinbin F., Xianwu B., Guangle Q., Guanghui L. and Shunlin T. *Mercury Pollution in Guizhou, China: A Status Report*. pbc.eastwestcenter.org/abstracts2005/abstract2005fengxinbin.htm, as read on 29 December 2005.

- ¹ 1 ng (nanogramme) = 1×10^{-12} (1×10^{-9} gramme); Nm³ = mètre cube normal, volume de gaz sec mesuré à 0°C et à 101,3 kPa. Pour plus d'information sur les mesures de toxicité, voir section I.C., paragraphe 3 du présent guide.
- ² Présentation de Hydro Magnesium Canada au Electrolytic Magnesium Industry Bi-national Informative Meeting, Montréal, le 12 décembre 2000, par Jean Laperriere, Environment Chief.
- ³ En avril 2003, cette unité a été fermée indéfiniment en raison des conditions du marché
- ⁴ 1 ng (nanogramme) = 1×10^{-12} kilogramme (1×10^{-9} gramme); Nm³ mètre cube normal, volume gaz sec mesuré à 0° C et 101,3 kPa. Pour des informations sur les mesures de toxicité voir la section I.C, paragraphe 3 des présentes directives. Les conditions de concentration opératoires pour l'oxygène sont utilisées pour les sources métallurgiques.
- ⁵ 1 pg (picogramme) = 1×10^{-15} kilogramme (1×10^{-12} gramme); 1 ng (nanogramme) = 1×10^{-12} kilogramme (1×10^{-9} gramme); pour des informations sur les mesures de toxicité voir la section I.C, sous-section 3 des présentes directives. Les conditions de concentration opératoires pour l'oxygène sont utilisées pour les sources métallurgiques.



<http://www.pops.int>

UNEP/SSC/BATBEP/2008/7

Section V.I.M
Section V.I.L
Section V.I.K
Section V.I.J
Section V.I.I
Section V.I.H
Section V.I.G
Section V.I.F
Section V.I.E
Section V.I.D
Section V.I.C
Section V.I.B
Section V.I.A
Section V.D
Section V.C
Section V.B
Section V.A
Sections I-IV

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

Les sources de combustion résidentielles



Le contenu de cette publication peut être reproduit à des fins éducatives ou sans but lucratif, dans son intégralité ou en partie, quelque soit le format, sans autre permission spéciale, pourvu que la source soit parfaitement identifiée. Le Secrétariat de la Convention de Stockholm et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) souhaiteraient recevoir une copie de tout ouvrage utilisant cette publication comme référence. Cette publication ne peut faire l'objet de revente ou toute autre activité commerciale sans l'accord préalable et par écrit du PNUE.

Publiée par le Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en octobre 2008. Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser au:

Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Genève, Suisse
ssc@pops.int - www.pops.int

Mise en page et impression par: SRO-Kundig - Genève

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

T A B L E D E S M A T I È R E S

SECTION I: INTRODUCTION

- I.A** OBJECTIF
- I.B** STRUCTURE DU DOCUMENT ET UTILISATION DES DIRECTIVES ET CONSEILS
- I.C** PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C: DÉFINITIONS, RISQUES, TOXICITÉ
- I.D** ARTICLE 5 ET L'ANNEXE C DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- I.E** LIEN AVEC LA CONVENTION DE BÂLE
- I.F** LIEN AVEC D'AUTRES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

SECTION II: CONSIDÉRATIONS D'ALTERNATIVES DANS L'APPLICATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

- II.A** CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES DANS LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- II.B** LA CONVENTION DE STOCKHOLM ET LES SOURCES NOUVELLES
- II.C** UNE APPROCHE À LA CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES
- II.D** AUTRES CONSIDÉRATIONS DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM

SECTION III: MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES: DIRECTIVES, PRINCIPES ET CONSIDÉRATIONS CROISÉES

- III.A** DIRECTIVES
- III.B** PRINCIPES ET APPROCHES GÉNÉRAUX
- III.C** CONSIDÉRATIONS CROISÉES:
 - (i) PRODUITS CHIMIQUES DE L'ANNEXE C: MÉCANISMES DE FORMATION
 - (ii) CONSIDÉRATIONS SUR LA GESTION DES DÉCHETS
 - (iii) EFFETS BÉNÉFIQUES ADDITIONNELS DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LES PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C
 - (iv) GESTION DES GAZ DE PROCÉDÉ ET D'AUTRES RÉSIDUS
 - (v) FORMATION DES DÉCIDEURS ET DU PERSONNEL TECHNIQUE
 - (vi) MESURES, SUIVI ET PRÉSENTATIONS DES RAPPORTS

SECTION IV: COMPILATION DES RÉSUMÉS DES CATÉGORIES DES SOURCES INCLUSES DANS LES SECTIONS V ET VI

RESUMES DE LA SECTION V: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

RESUMES DE LA SECTION VI: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

SECTION V: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DE SOURCES: CATEGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

- V.A** LES INCINÉRATEURS DE DÉCHETS
- (i) DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, DÉCHETS DANGEREUX ET DE BOUES D'ÉPURATION
 - (ii) DÉCHET MÉDICAUX
- V.B** LE BRULAGE DE DÉCHETS DANGEREUX DANS LES FOURS A CIMENT
- V.C** LA PRODUCTION DE PÂTE À PAPIER UTILISANT LE CHLORE ÉLÉMENTAIRE, OU DES SUBSTANCES CHIMIQUES GÉNÉRANT DU CHLORE ÉLÉMENTAIRE
- V.D** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
- (i) PRODUCTION DU CUIVRE SECONDAIRE
 - (ii) USINES DE FRITTAGE DANS L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER
 - (iii) PRODUCTION D'ALUMINIUM SECONDAIRE
 - (iv) PRODUCTION DU ZINC SECONDAIRE

SECTION VI: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DES SOURCES: CATÉGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

- VI.A** LA COMBUSTION À CIEL OUVERT DE DÉCHETS, Y COMPRIS DANS LES DÉCHARGES
- VI.B** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE AUTRES QUE CEUX MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE C PARTIE II
- (i) PRODUCTION DU PLOMB SECONDAIRE
 - (ii) PRODUCTION D'ALUMINIUM PRIMAIRE
 - (iii) PRODUCTION DE MAGNESIUM
 - (iv) PRODUCTION D'ACIER SECONDAIRE
 - (v) PREMIÈRE FUSION DES MÉTAUX DE BASE

VI.C	LES SOURCES DE COMBUSTION RÉSIDENTIELLES
VI.D	LA COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES DANS DES CHAUDIÈRES DE CENTRALES ET LES CHAUDIÈRES INDUSTRIELLES
VI.E	LES INSTALLATIONS DE BRÛLAGE DE BOIS ET DE COMBUSTIBLES ISSUS DE LA BIOMASSE
VI.F	LES PROCÉDÉS SPÉCIFIQUES DE PRODUCTION DE SUBSTANCES CHIMIQUES ENTRAÎNANT DES REJETS DE SUBSTANCES INSCRITES À L'ANNEXE C
VI.G	LES FOURS CRÉMATOIRES
VI.H	LES VÉHICULES À MOTEUR, NOTAMMENT CEUX UTILISANT DE L'ESSENCE AU PLOMB
VI.I	LA DESTRUCTION DE CARCASSES D'ANIMAUX
VI.J	LA TEINTURE DE TEXTILES OU DU CUIR (AU CHLORANILE) ET LA FINITION (EXTRACTION ALCALINE)
VI.K	LES INSTALLATIONS DE BROYAGE DES ÉPAVES DE VÉHICULES
VI.L	LE CHAUFFAGE LENT DE CÂBLES EN CUIVRE
VI.M	LES RAFFINERIES D'HUILES USÉES

Section VI.C

**Directives/conseils par catégorie des sources:
Catégories des sources dans la Partie III de l'Annexe C**

Partie III Catégorie de source (c) : Les sources de combustion résidentielles

T A B L E D E S M A T I È R E S

VI. C Les sources de combustion résidentielle	9
Introduction.....	10
1. Les rejets de produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm issus de la combustion domestique	11
1.1 Les émissions provenant de la combustion de combustibles fossiles et de la biomasse	11
1.2. Les émissions issues de la combustion de mélanges de combustibles contaminés	13
2. Les meilleures techniques disponibles	15
2.1 Les combustibles et appareils: les principes généraux	16
2.2 Appareils de cuisine et de chauffage.....	17
3. Les meilleures pratiques environnementales	17
3.1 Les appareils de combustion et les problèmes possibles	17
3.2 Ventilation	19
3.3 Inspection et entretien	19
3.4 L'utilisation correcte des appareils et du combustible	21
3.5 Programmes d'éducation, de sensibilisation et de formation	22
3.6 La gestion de la combustion résidentielle	22
3.7 La gestion des émissions dans d'autres milieux	22
4 La mise en œuvre efficace des meilleures techniques disponibles et meilleures pratiques environnementales.	23
Références	27
Autres Sources.....	27

Tableaux

Tableau 1. Facteurs d'émission de PCDD/PCDF pour la combustion de combustibles fossiles	12
Tableau 2. Les facteurs d'émission de PCDD/PCDF et PCB pour la combustion résidentielle.....	13
Tableau 3. Les facteurs d'émission de PCDD/PCDF et de PCB pour différents combustibles	13
Tableau 4. Les facteurs d'émissions de PCDD/PCDF comparatifs de la combustion de bois propres et contaminés.	14
Tableau 5. Appareils de combustion et problèmes possibles.....	18

Tableau 6. Calendrier d'inspection et d'entretien	20
Tableau 7. Relation entre les facteurs d'émission des PCDD/PCDF par rapport au contenu en PVC dans les matériaux brûlés	22
Tableau 8. Obstacles possibles et options pour une mise en œuvre efficace des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales pour les appareils de combustion résidentiels.....	24
Encadrés	
Encadré 1 Prise de conscience et éducation: études de cas.....	25

■ Résumé

Cette section concerne la combustion du bois, du charbon, et du gaz, ainsi que d'autres matières organiques, utilisés principalement pour le chauffage résidentiel et la cuisine. La combustion a lieu dans des fours ou foyers alimentés manuellement ou, dans le cadre de plus grands systèmes de chauffage central, dans des installations à combustion automatisée. Des études ont démontré que des concentrations significatives de substances listées dans l'Annexe de la Convention de Stockholm sont rejetées par des sources de combustion domestiques. Les quantités de produits chimiques rejetés dépendent surtout du type de combustible utilisé (les déchets ménagers, les bois flottants imprégnés de sel, et les bois traités sont des sources importantes de PCDD/PCDF) de même que l'efficacité de la combustion. L'efficacité de la combustion dépend de la température de la combustion, de la manière dont les gaz sont mélangés, du temps de résidence, d'un apport suffisant en oxygène et des caractéristiques du combustible. Vu leur grand nombre, les dispositifs de combustion résidentiels ont une forte influence sur les rejets globaux des substances inscrites dans l'Annexe C.

L'utilisation d'une combustion efficace de combustibles propres et non traités pour la cuisson et le chauffage est d'une importance primordiale pour la réduction et le rejet des produits chimiques inscrits à l'Annexe C. Des stratégies visant à réduire les rejets des substances inscrites à l'Annexe C de sources de combustion résidentielles comprennent: l'éducation du public, des programmes de sensibilisation et de formation portant sur l'utilisation correcte des appareils, sur l'emploi de combustibles appropriés, et sur les impacts sur la santé des combustions résidentielles non contrôlées. Les techniques de réduction d'émissions utilisées couramment dans un milieu industriel ne sont généralement pas disponibles pour les appareils domestiques plus petits utilisés pour le chauffage et dans la cuisine. Cependant, l'utilisation de fourneaux bien conçus et manipulés correctement peut être un moyen efficace pour réduire les émissions de substances inscrites à l'Annexe C, avec l'avantage notable d'améliorer la qualité de l'air à l'intérieur de l'habitat.

Les meilleures techniques disponibles comprennent l'utilisation de brûleurs à faible émission avec des conduits d'évacuation, ainsi que l'emploi de bois sec et bien vieilli. Dans les pays ou régions où ces combustibles et dispositifs ne sont pas disponibles, les meilleures technologies disponibles et les meilleures pratiques environnementales pour la combustion résidentielle comprennent une bonne séparation des déchets domestiques et des combustibles afin d'éviter qu'on ne brûle de tels déchets dans les appareils de chauffage et de cuisson. Dans tous les pays, il faut éviter l'utilisation de bois traité et de bois flottant imprégné de sel, de même que l'utilisation de plastiques pour allumer le feu ou comme combustible.

Il est courant, et c'est une pratique importante dans tous les pays du monde de cuisiner et de chauffer au bois. Toute action visant à réduire les substances inscrites à l'Annexe C devra tenir compte des facteurs sociaux, culturels et économiques. Des exemples concrets venant de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande sont fournis pour illustrer ce point.

Introduction

Comme la biomasse est facilement accessible et peu coûteuse, elle est largement utilisée comme source d'énergie par les groupes sociaux à faible revenu. Dans les pays en voie de développement, 75–80% de la population sont dépendants du bois et des déchets à base de biomasse, pour faire la cuisine et pour chauffer l'habitat. En outre, on ne s'attend pas à ce que cette dépendance diminue de manière significative pendant un siècle au moins, et certaines études suggèrent que cette tendance pourrait croître. Dans la plupart des cas, on utilise des déchets de biomasse provenant de l'agriculture et des forêts, mais dans certaines régions du monde la demande provenant du secteur de l'énergie domestique a créé une grave pression sur les ressources forestières (Karve 2000).

Les fourneaux, utilisant de la biomasse, sont généralement de nature assez simple. Dans la plupart des cas ce sont des structures assez grossières faites de trois briques (des feux ouverts). Il n'y a pas de cheminée pour la ventilation de la fumée et de la suie, ce qui signifie que toute émission est inhalée directement par les personnes dans le voisinage du fourneau. La pollution interne de l'air (suies et fumées) produite par une combustion incomplète des combustibles à base de biomasse représente un problème majeur de santé publique. Des études effectuées au cours des deux dernières décennies ont démontré que la mauvaise qualité de l'air d'intérieur est l'un des facteurs principaux contribuant à la mort, à des maladies respiratoires et à la mauvaise santé des femmes et des enfants dans les zones rurales des pays en voie de développement, et parmi les classes sociales à faible revenu. En Inde, par exemple, 1,5% du taux de mortalité des femmes est attribué à des maladies chroniques du système respiratoire.

L'incidence de la cécité et de la tuberculose est plus importante parmi les femmes qui utilisent des fours traditionnels que parmi tout autre groupe de la population. Plusieurs études récentes ont montré qu'il existe une corrélation directe entre la mort et les maladies des nourrissons et des enfants, et l'utilisation de bois et de biomasse comme combustible dans la maison. (Des préoccupations au sujet de la relation entre la cuisson et le chauffage dans les pays en voie de développement, la qualité de l'air dans les maisons et la santé publique a conduit, en 2003, à l'établissement du Partenariat Mondial pour l'Air Interne Propre (Global Partnership for Clean Indoor Air; <http://www.pciaonline.org/> en novembre 2006), qui soutient le développement de technologies propres et à prix accessibles d'appareils domestiques destinés au chauffage et à la cuisson). En plus, les déchets ménagers sont utilisés comme source de combustibles pour la cuisson et le chauffage, et cela peut contribuer à la formation et au rejet de substances inscrites à l'Annexe C générées par la combustion domestique.

1. Les rejets de produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm issus de la combustion résidentielle

1.1 Les émissions provenant de la combustion de combustibles fossiles et de la biomasse

Pour le chauffage domestique et la cuisson, il existe une large gamme d'appareils allant de petits fours et foyer à fond ouvert, à de grands fours et poêles à bois, hautement sophistiqués. Etant donné que les pays utilisent des termes différents (par exemple, four, poêle, cuisinière, etc.) on utilisera ici le mot *brûleur* comme désignation générique lorsque cela se justifie.

Les combustibles fossiles sont largement utilisés pour le chauffage domestique, en particulier dans les pays développés et dans les pays en voie de transition. Le charbon, l'huile (légère) et le gaz (naturel) sont les principaux types de combustibles utilisés pour le chauffage domestique.

Le combustible fossile est brûlé dans des appareils qui vont de petits fourneaux alimentés manuellement jusqu'aux grandes chaudières utilisées pour la génération de chaleur dans les grands ensembles résidentiels. La production de chaleur est optimisée quand ces appareils sont bien manipulés et entretenus. On utilise généralement deux types de systèmes de chauffage qui se distinguent par la manière dont la chaleur est transportée et libérée. Les systèmes dits à *chauffage central* qui utilisent de l'huile ou du gaz comme combustible, utilisent un grand dispositif pour chauffer l'eau ou l'air, qu'on fait ensuite circuler dans le bâtiment pour libérer la chaleur dans de nombreux radiateurs ou canalisations décentralisés. Ces systèmes modernes sont normalement très efficaces et assurent une combustion propre, ne laissant que peu, voire aucun résidu à éliminer.

Le second type de système de chauffage utilise le plus souvent des combustibles solides (charbons) et consiste en un ensemble de fourneaux individuels qui sont placés dans chaque pièce du bâtiment ou à l'intérieur des murs pour fournir un accès direct à plusieurs chambres en même temps. Ces fourneaux sont normalement de petits poêles mais le système permet à l'air de circuler à l'intérieur et autour de l'appareil. De tels systèmes sont normalement plus anciens, moins efficaces et donnent une combustion moins propre; ils peuvent aussi amener à la formation de cendres résiduelles à cause de la présence de matériaux non organiques dans le combustible, qui doivent être éliminées. Certains de ces appareils peuvent utiliser de l'huile comme combustible.

Des dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD) et dibenzofuranes polychlorés (PCDF) peuvent être formés dans le cas d'une combustion incomplète; ils sont rejetés principalement dans l'air. Dans le cas du charbon, les résidus peuvent aussi représenter un vecteur de rejet. Des facteurs d'émissions dérivés d'études en Europe sont présentés dans le Tableau 1.

■ Tableau 1. Facteurs d'émission de PCDD/PCDF pour la combustion de combustibles fossiles

Type d'appareil	Facteurs d'émission: µg TEQ/TJ de combustible fossile brûlé vers l'air ^a	Concentration ng TEQ/ kg de résidu de cendres
Fours à charbon à haute teneur en chlore	15'000	30'000
Fours au charbon	100	5'000
Fours à huile	10	NA
Fours au gaz naturel	1,5	NA

NA Non-disponible.

a. TJ = térajoule = 1×10^{12} joules.

Source: PNUE 2005.

Biomasse est un terme utilisé pour décrire des matières organiques naturelles telles que bois, paille, coquilles de noix de coco, vannures, déjections d'animaux, etc. utilisées comme combustible pour le chauffage et la cuisson domestique. En général, il existe des variations importantes concernant les facteurs d'émissions estimés pour la combustion domestique. Ce qui suit est un résumé des données disponibles au moment de la publication, classées par groupe de combustibles et de technologies.

Des tests sur les émissions PCDD/PCDF issues des installations du chauffage domestique ont été effectués en Autriche (Thanner and Moche 2002). Cette évaluation a concerné les émissions provenant de trois types différents de fours à combustible solide. Les appareils utilisés pour les expériences étaient un nouveau four à bas prix convenant à tout combustible solide, un fourneau en fonte pour brûler le coke, vieux d'environ 20 ans et un fourneau en fonte d'environ 10 ans. Les mesures ont été faites pour le charbon aussi bien que pour le coke et le bois; tous les combustibles étaient de qualité commerciale. Les échantillons ont été prélevés pendant tout le cycle de chauffe, en commençant par la mise à feu et finissant lorsque le feu était éteint. Les fumées étaient analysées pour les PCDD/PCDF et les PCB; les cendres et la suie de cheminée étaient échantillonnées après la fin de chaque cycle de chauffe et analysées pour les PCDD/PCDF et les PCB. Les facteurs d'émission sont présentés dans les tableaux 2 et 3.

Seule une petite partie des PCDD/PCDF et PCB formés pendant la combustion du bois et combustibles fossiles était retrouvée dans les cendres et dans les suies de cheminée; plus de 90% de ces polluants étaient présents dans les sous-produits gazeux et sous forme d'aérosol. Le reste était concentré dans la suie tandis que les cendres ne contenaient que des quantités insignifiantes.

Des mesures faites dans des conditions réelles avec des appareils fonctionnant dans des conditions normales (c'est-à-dire, réalistes) peuvent montrer des variations bien supérieures que dans le cas d'utilisation du même type de fourneau et le même type de

combustible. Des concentrations de PCDD/PCDF allant de 0,09 à 9,0 ng I-TEQ/MJ ont été relevées lors d'un projet couvrant sept appareils de chauffage au bois, mené par un institut privé.

■ **Tableau 2. Les facteurs d'émission de PCDD/PCDF et PCB pour la combustion résidentielle**

Combustible	PCDD/PCDF TEQ (I-TEF)	PCDD/PCDF TEQ (OMS)	PCB TEQ (OMS)
	ng/Nm ³ (0% O ₂) ^{as}	ng/Nm ³ (0% O ₂)	ng/Nm ³ (0% O ₂)
Bois	0,1–2,0	0,1–2,0	0,01–0,08
Charbon	7,5–38,7	8,0–41,8	1,7–2,4
Coke	0,9–4,4	0,9–4,6	0,03–0,2

Source: Thanner and Moche 2002.

a. 1 ng (nanogramme) = 1 × 10⁻¹² kilogramme (1 × 10⁻⁹ g); Nm³ = mètre cube normal, volume de gaz sec mesuré à 0°C et 101,3 kPa.

■ **Tableau 3. Les facteurs d'émission de PCDD/PCDF et de PCB pour différents combustibles**

Combustible		PCDD/PCDF	PCB	
		I-TEQ ng/MJ ^a	TEQ-OMS ng/MJ	Σ Ballschmider* ng/MJ
Bois	Médiane moyenne	n=8	n=3	n=3
		0,27	0,01	65,2
		0,32	0,01	50,3
Charbon	Médiane moyenne	n=8	N=2	n=2
		8,80	0,51	64,0
		7,74	0,1	64,0
Coke	Médiane moyenne	n=4	N=4	n=4
		1,53	0,06	82,0
		1,7	0,06	81,1

* Source: Thanner and Moche 2002.

a.MJ: megajoule= 1 x 10⁶ joule

1.2 Les émissions issues de la combustion de mélanges de combustibles contaminés

Selon l'Inventaire Européen des Emissions, la combustion du bois est aujourd'hui l'une des sources d'émission vers l'air de PCDD/PCDF les plus importantes (Berdowski *et al.* 1997). Bien qu'une attention particulière ait été portée à la combustion du bois, il faut noter que le matériau brûlé peut souvent contenir non seulement du bois naturel, mais aussi des déchets de bois imprégné et traité avec divers composés chimiques

comprenant des composés organochlorés. Les résidus de bois (déchets et industriels) contiennent souvent divers types de contaminants (arsenate de cuivre au chrome, pentachlorophénole, créosote, adhésifs, résines, peintures et autres revêtements). Il est aussi pratique courant d'utiliser tout matériau qui brûle, y compris les déchets, comme combustible (par ex. textiles, gommés, plastiques, matières imprimées, matériaux d'emballage, huiles usagées, etc.).

Des facteurs d'émission comparatifs dérivés d'études effectuées dans divers pays européens sur la combustion de bois traités par rapport à des bois non-traités sont présentés dans le Tableau 4. Les facteurs d'émission pour les rejets par les résidus sont donnés sur la base des concentrations mesurées dans les cendres et ne sont pas reliés au pouvoir calorifique du combustible.

Tableau 4. Les facteurs d'émissions de PCDD/PCDF comparatifs de la combustion de bois propres et contaminés

Type d'équipement	Facteurs d'émission: µg TEQ/TJ de biomasse brûlée dans l'air ^a	Concentration: ng TEQ/ kg résidus de cendres
Fours brûlant bois contaminé/biomasse	1'500	1'000
Fours brûlant bois vierge/biomasse	100	10

a. TJ = térajoule = 1 x 10¹² joule.

Source: PNUE 2005.

Des études ont été effectuées aux Etats-Unis sur la combustion domestique du bois pour voir si une formation de PCDD/PCDF avait lieu (Lavric, Konnov and De Ruyck 2004). Des évaluations ont été faites des échantillons de suie pris dans les cheminées de poêles à bois dans les régions du centre, de l'est et de l'ouest des Etats Unis. La moyenne des émissions totales de PCDD/PCDF dans les dépôts de cheminée était de 8,3 ng/kg dans la région de l'est, de 42,1 ng/kg dans la région du centre, et de 10 ng/kg dans l'ouest. Cette grande variabilité a été attribuée à des différences de conception des différentes unités et des contaminations du combustible bois.

Des concentrations mesurables de tetrachlorodibenzo-*p*-dioxines (TCDD) ont été trouvées dans la suie de cheminée et dans les cendres résiduelles des poêles à bois et des feux de cheminée. Des dépôts dans les cheminées venant de la combustion domestique du bois ont accusé des profils de congénères de PCDD/PCDF similaires à ceux trouvés dans les gaz de combustion des incinérateurs de déchets municipaux. Ceci indique que le bois utilisé dans des appareils domestiques de combustion pourrait être hautement contaminé, et que des matériaux inappropriés, tels les plastiques, pourraient aussi être utilisés comme sources de combustible.

De la suie provenant de deux poêles à bois en Colombie-Britannique, Canada, a été analysée pour la présence de PCDD. La suie provenant d'un poêle à bois brûlant du bois imprégné de sel dans une région côtière contenait des concentrations en PCDD de 20

à 90 fois plus élevées que des échantillons provenant de poêles des régions plus loin de la côte. La concentration de PCDD dans les cendres volantes augmentait proportionnellement à la concentration en chlore (venant de l'eau de mer).

Selon des analyses chimiques faites en Pologne, les sources résidentielles peuvent émettre des gaz de combustion contenant des concentrations de PCB environ 3 fois plus élevées qu'à partir de sources industrielles (à l'exclusion des industries manufacturières), des concentrations environ 2 fois plus élevées en hexachlorobenzène (HCB) et des concentrations environ 25 fois plus élevées en PCDD/PCDF. La raison principale de ces concentrations élevées de PCDD/PCDF, PCB et HCB est la co-combustion de déchets domestiques avec du charbon ou du bois, souvent dans des poêles de cuisine ou des chaudières de chauffage (Lassen *et al.* 2002, 2003).

La co-combustion du bois ou du charbon avec des déchets domestiques a lieu dans les zones rurales et dans les banlieues qui sont proches des forêts, dans des maisons secondaires et aussi dans des zones résidentielles. Des statistiques publiques donnent un chiffre de 95'000 TJ pour la combustion combinée de bois et de tourbe. La contribution de cette dernière était estimée faible. Selon des estimations faites par des experts, environ 15% de la quantité totale du bois ou charbon brûlé est remplacée par des déchets domestiques. La quantité totale de combustible contaminé est estimée à 9'500–19'000 TJ. Les concentrations en PCDD/PCDF dans les gaz de combustion des cheminées en Pologne, où les déchets domestiques sont co-incinérés, variaient beaucoup, de 0,32 à 77 ng I-TEQ/Nm³. Les facteurs d'émission provenant de l'antracite variaient de 7 à 570 g TEQ/Mg. Les émissions totales de PCDD/PCDF en Pologne provenant de sources résidentielles ont été estimées entre 30 et 85 g de I-TEQ. Le profil de la distribution en poids des congénères des PCDD/PCDF dans les gaz de cheminée était similaire à ce qui a été trouvé dans les gaz de combustion des incinérateurs de déchets.

Il n'y a que peu de contrôle des émissions des sources résidentielles. La plupart des poêles et foyers de chauffe fonctionnent avec des niveaux d'oxygène trop faibles et avec peu de turbulence dans les gaz qui brûlent (à cause d'une surcharge ou de l'utilisation de morceaux de bois trop grands). Dans de telles circonstances la combustion libre non seulement des polluants gazeux mais aussi des polluants solides contenant des PCDD/PCDF, ce qui constitue les rejets vers les sols.

2. Les meilleures techniques disponibles

Il est très important d'assurer une combustion de haute qualité et efficace dans les appareils de chauffe et de cuisine afin de réduire la formation et le rejet des substances chimiques inscrites à l'Annexe C. Pour les brûleurs fermés, ceci dépend principalement de la température dans la chambre de combustion, de la turbulence des gaz qui brûlent, de l'excès d'oxygène et du type de combustible utilisé. Ces paramètres sont conditionnés par divers facteurs tels que:

- la technologie de combustion (par ex., conception de la chambre de combustion, technologie de contrôle du procédé);

- les conditions opératoires (par ex. le rapport entre l'air primaire et secondaire, distribution des buses d'entrée d'air);
- les conditions de charge (charge totale ou partielle);
- les caractéristiques du combustible (forme, répartition des tailles des morceaux, teneur en humidité).

Toute recommandation qui pourrait être faite au sujet des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales pour les appareils utilisant de la biomasse ou du bois devra prendre en considération le fait que la dépendance de combustibles biomasse pour la cuisine et pour le chauffage persistera pendant plusieurs années dans les communautés à faible revenu et rurales. La mise en oeuvre des directives relatives à de tels appareils dépendra d'une gamme de circonstances, dont des facteurs socio-économiques. Les pays, comme partie de la mise en oeuvre de leur plan national, devraient entreprendre des évaluations pour déterminer les conséquences possibles socio-économiques de l'application de nouveaux standards ou de nouvelles législations.

Le remplacement de poêles mal conçus par des poêles améliorés qui brûlent le combustible de manière plus efficace serait une stratégie efficace pour réduire les rejets de substances chimiques inscrites à l'Annexe C, et ceci aura l'avantage supplémentaire d'améliorer la qualité de l'air d'intérieur. De plus, certaines études indiquent que ces modèles améliorés peuvent faire gagner de 50–80% en combustible par rapport aux modèles traditionnels. Des conceptions optimales pour des poêles améliorés peuvent économiser du combustible, réduire la pollution de l'air, être faciles à fabriquer, à installer et à opérer, et être d'un prix abordable pour les utilisateurs ruraux. De tels modèles peuvent améliorer la sécurité en réduisant l'exposition directe aux flammes et à la chaleur, et peuvent participer à la création d'emplois de par leur fabrication, leur vente et leur entretien.

Les conceptions de poêles améliorés devraient prendre en considération les besoins et les préoccupations des utilisateurs. Par exemple, des études ont montré que les utilisateurs de modèles améliorés sont préoccupés par les combustibles et les économies de combustible, les émissions polluantes, le coût, le temps de cuisson, la facilité de faire fonctionner et d'entretenir les poêles, l'adaptabilité vis-à-vis d'ustensiles de cuisine existantes, les pratiques pour les combustibles et pour cuisiner, la facilité d'allumage et le contrôle du niveau de chauffe, et la sécurité opérationnelle. Des efforts pour développer des poêles améliorés doivent prendre en considération les aspects sociaux, culturels, scientifiques, économiques, ergonomiques et de santé.

2.1 Combustibles et appareils: principes généraux

Les meilleures techniques disponibles comprennent des brûleurs à faible émission avec des conduits pour les gaz et l'utilisation de bois sec, bien vieilli. Pour les pays qui n'ont pas d'exigence de réduction en gaz à effet de serre, l'utilisation de combustibles plus propres tels que du GPL, du gaz naturel, de l'huile et du kérosène peuvent aussi être appropriés bien que cela exige des équipements adaptés à ces combustibles.

Pour les pays ou régions où ces combustibles et appareils ne sont pas disponibles, les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales pour les

sources de combustion résidentielle comprennent une bonne séparation des déchets ménagers et des combustibles utilisés dans les appareils, afin d'éviter que l'on ne brûle les déchets ménagers dans les appareils de cuisson et de chauffage. Dans tous les pays, l'utilisation de bois traité ou de bois chargé d'eau de mer ainsi que l'utilisation de plastiques comme combustible d'allumage ou comme combustible devraient être évitées.

Des mesures pour contrôler les émissions dans les gaz produits sont souhaitables mais non couramment reconnues pour les feux domestiques et les appareils de cuisson. De grands systèmes, comparables à ceux utilisés pour les procédés industriels, devraient être équipés avec des cyclones ou des filtres en tissu. Il est noté que des convertisseurs catalytiques sont disponibles dans quelques pays mais ne sont pas employés de manière routinière.

2.2 Appareils de cuisine et de chauffage

Dans le cas de poêles et de fours individuels, les émissions peuvent être réduites en utilisant des éléments optimisés de chauffage. Différents types sont disponibles, selon les pays en fonction des standards techniques généraux, le contexte social, culturel et économique, ainsi que les conditions climatiques.

Les technologies optimisées de combustion devraient avoir les caractéristiques suivantes:

- un bon niveau de mélange des gaz et de l'air (turbulence ou mélange élevés);
- un temps de résidence suffisant dans la zone chaude;
- une perturbation minimale de la couche en feu, et une répartition homogène de l'air primaire;
- un temps de résidence minimal dans la gamme de températures entre 180°C et 500°C et une capacité de déposition minimale des poussières;
- la cheminée des fumées devrait toujours être maintenue propre et libre de suie en assurant une combustion complète et un nettoyage régulier (au moins une fois par an).

3. Les meilleures pratiques environnementales

3.1 Les appareils de combustion et les problèmes possibles

Le tableau 5 identifie quelques problèmes typiques qui peuvent mener à un rejet de polluants. Beaucoup de ces problèmes sont difficiles à identifier par un propriétaire. Cette information devrait être fournie par le fabricant ou le revendeur au point de vente de ces appareils. La sensibilisation du public par les médias peut aussi être un bon moyen de dissémination d'information.

■ Tableau 5. Appareils de combustion et problèmes possibles

Appareils	Combustible	Problèmes typiques possibles
Chauffages centraux Chauffeurs de pièce Cheminées	Gaz naturel ou gaz de pétrole liquéfié	Echangeur de chaleur fissuré Insuffisance d'air pour brûler le combustible correctement Conduit de cheminée défectueux/bloqué Brûleur mal réglé
Chauffages centraux	Mazout	Echangeur de chaleur fissuré Insuffisance d'air pour brûler le combustible correctement Conduit de cheminée défectueux/bloqué Brûleur mal réglé
Chauffages centraux Chauffages de pièces	Bois	Echangeur de chaleur fissuré Insuffisance d'air pour brûler le combustible correctement Conduit de cheminée défectueux/bloqué Bois vert ou traité
Chauffages centraux Poêles	Charbon	Echangeur de chaleur fissuré Insuffisance d'air pour brûler le combustible correctement Grille défectueuse Conduit de cheminée défectueux/bloqué Charbon de mauvaise qualité Combustible à haut contenu en humidité
Fourneaux de cuisine Fours	Gaz naturel ou GPL	Insuffisance d'air pour brûler le combustible correctement Brûleur mal réglé Mauvaise utilisation comme chauffage de pièce
Chauffages de pièces Chauffages centraux	Kérosène	Réglage mal fait Combustible inadapté (pas K-1) Mauvaise mèche ou longueur de mèche Insuffisance d'air pour brûler le combustible correctement
Poêles Cheminées	Bois Charbon	Insuffisance d'air pour brûler le combustible correctement Conduit de cheminée défectueux/bloqué Bois vert ou traité Echangeur de chaleur ou fond du foyer fissuré Combustible non approprié, tel que déchet ménagé
Chaudières d'eau	Gaz naturel ou GPL	Insuffisance d'air pour brûler le combustible correctement Conduit de cheminée défectueux/bloqué Brûleur mal réglé

Source: CPSC 2004.

3.2 Ventilation

Afin de réduire la pollution de l'air à l'intérieur, les flux d'air entrant et sortant sont très importants, aidant à réduire les niveaux de concentration de polluants nuisibles à l'intérieur en les entraînant par la cheminée, le tuyau de poêle, ou les conduits vers l'extérieur. Ceci contribue aussi à un apport d'air pour une bonne combustion, réduisant ainsi les niveaux des polluants.

La ventilation peut être améliorée:

- En utilisant une hotte de ventilation au dessus des poêles pour faciliter la ventilation;
- En assurant un débit d'air suffisant entrant dans l'habitation lorsqu'on utilise un ventilateur aspirant (par ex. en ouvrant à peine une fenêtre ou porte, en particulier si d'autres appareils sont en marche);
- En maintenant une pression d'air dans la maison, plus élevée que celle de l'extérieur, ceci permettant un bon fonctionnement de la plupart des appareils de combustion et de leur système de tirage d'air. Si ceci n'est pas fait, les appareils ouverts pourraient rejeter les polluants de la combustion dans la maison plutôt que vers l'extérieur;
- En assurant que le conduit de l'appareil ventilé est bien rattaché et que rien ne le bloque, et qu'il n'y a pas de trous ou de fissure dans les raccords de ventilation;
- En ouvrant le poêle ou le clapet de cheminée quand on rajoute du bois, ceci permettant davantage d'air à entrer dans l'appareil. Plus d'air favorise une bonne combustion du bois et empêche les polluants de revenir dans l'habitation au lieu de partir par la cheminée. De la fumée visible et une odeur constante de fumée dans l'habitation dans le cas d'un poêle à bois, sont des signes que le poêle ne fonctionne pas correctement, comme l'est le dépôt de suie sur les meubles d'une pièce où le poêle est en marche. La fumée et la suie sont des signes que le poêle libère des polluants vers l'air de l'intérieur.

Les appareils de chauffe ou les poêles non ventilés ne devraient jamais être utilisés dans des pièces où dorment des gens; il peut en résulter une exposition à des concentrations de monoxyde de carbone dangereuses ou mortelles.

3.3 Inspection et entretien

Les appareils de combustion devraient être inspectés et entretenus de manière régulière (Tableau 6) afin de réduire l'exposition aux polluants. Il est important de nettoyer les cheminées et ventilations, en particulier lorsque l'on change le système de chauffage.

■ **Tableau 6. Calendrier d'inspection et d'entretien**

Appareil	Inspection		Entretien	
	Tâches	Fréquence	Tâches	Fréquence
Dispositif de chauffage au gaz avec air chaud	Filtres à air: nettoyer/changer le filtre Vérifier les conduits pour corrosion et suie	Mensuelle en fonction des besoins Annuellement	Personnel qualifié pour vérification/nettoyage des cheminées, nettoyer/régler les brûleurs, vérifier échangeur de chaleur et fonctionnement	Annuellement (au début de la saison de chauffage)
Système de chauffage gaz-mazout, eau-vapeur et chaudières d'eau	Vérifier les conduits pour la corrosion et la suie	Annuellement	Personnel qualifié pour vérification/nettoyage des cheminées, nettoyage chambre de combustion, réglage des brûleurs, et fonctionnement qualifié, nettoyer chambre de combustion, régler le brûleur, vérifier le fonctionnement	Annuellement, au début de la saison de chauffe
Chauffage d'espaces au kérosène	Vérifier que le manchon est bien fixé Vérifier l'absence d'eau et d'autres contaminants dans le réservoir de combustible	Chaque jour pendant le fonctionnement Tous les jours ou avant remplissage	Vérifier et remplacer la mèche Nettoyer la chambre de combustion Vidanger le réservoir de combustible	Annuellement (au début de la saison de chauffe) Annuellement (au début de la saison de chauffe) Annuellement (à la fin de la saison de chauffe)
Poêles bois/charbon et chaudières et fours résidentiels	Vérifier les conduits pour corrosion et suie	Mensuellement	Personnel qualifié pour vérifier/nettoyer la cheminée, vérifier les lignes de soudures et joints, vérifier le fonctionnement	Annuellement (au début de la saison de chauffe)

Source: CPSC 2004.

3.4 L'utilisation correcte des appareils et du combustible

Il est important de comprendre et de suivre les instructions de fonctionnement pour tous les appareils ainsi que d'utiliser le type de combustible conseillé.

On devrait utiliser des bois durs séchés à l'air, dans la mesure où ils sont disponibles, plutôt que des bois résineux dans les poêles et foyers. Les bois durs brûlent de manière plus chaude et forment moins de crésote (un goudron huileux et noir qui colle aux cheminées et aux conduits, présentant un risque de feu).

Les bois verts ou mouillés, ainsi que ceux chargés en sel, devraient être totalement évités. La raison en est que les bois verts et/ou mouillés brûlent de manière moins efficace et peuvent mener à des émissions plus fortes de PCDD/PCDF. Des études comparatives sur du bois venant de régions côtières, par rapport à des régions de l'intérieur, ont mis en évidence le fait que les bois chargés de sel de mer accusent une teneur plus élevée en chlore avec donc des émissions plus élevées en PCDD/PCDF lorsqu'ils brûlent (voir aussi section 1.2).

Les déchets de bois peints ou des bois traités avec des agents préservatifs ne devront jamais être brûlés, car ils pourraient relâcher des polluants hautement toxiques, y compris des substances chimiques inscrites à l'Annexe C.

Il est important d'éviter des charges de bois avec des teneurs élevées en chlore et/ou brome, que ce soit sous forme inorganique, ou sous forme de substances organochlorées telles que le PVC (Lemieux *et al.* 2003). La co-combustion de déchets est cependant une pratique courante dans des dispositifs de chauffe à combustible solide. Cette pratique devrait être fortement découragée à travers les mesures politiques ainsi que des campagnes de sensibilisation du grand public (voir sous-sections 3.5 ci-dessous). Plusieurs études ont démontré que la combustion de déchets contenant du chlore tels que le PVC, mène à une formation accrue de polluants organiques persistants, comme il est indiqué au Tableau 7 (Gullett *et al.* 1999). Une réglementation définissant des combustibles standard pourrait être mise en œuvre. Ceci est aussi valable pour des combustibles comme le bois traité, les huiles usagées, l'huile de transformateur, les plastiques et d'autres déchets combustibles.

■ Tableau 7. Relation entre les facteurs d'émission des PCDD/PCDF par rapport au contenu en PVC dans les matériaux brûlés

Contenu en PVC [%]	0	0,2	1	7,5
Facteur moyen d'émission en I-TEQ/kg [ng]	14	80	200	4'900
Gamme des mesures I-TEQ/kg [ng]	2 - 28	9 - 150	180 - 240	3'500 – 6'700

Gullet *et al.* 1999

3.5 Programmes d'éducation, de sensibilisation et de formation

Typiquement, les émissions dues à d'autres polluants (telles que les particules fines ou le monoxyde de carbone) mènent à des efforts réglementaires pour améliorer les émissions venant de la combustion résidentielle. L'éducation, la prise de conscience et des programmes de formation en vue d'améliorer la compréhension des meilleures pratiques liées aux composés chimiques énumérés dans l'Annexe C devraient être un élément majeur de tels efforts (voir les études de cas d'étude dans l'Encadré I joint à cette section).

Tous programme d'éducation et de sensibilisation sera développé au mieux en collaboration avec les communautés locales pour assurer qu'il soit spécifique et utile. Les composants-clefs de programmes efficaces comprennent:

- L'éducation et la sensibilisation du public sur l'utilisation appropriée des combustibles. Les facteurs critiques à inclure sont:
 - L'utilisation de bois sec, ce qui réduira les rejets de PCDD/PCDF et peut aussi fournir jusqu'à 40% de chaleur en plus;
 - L'emploi de combustibles brûlant plus proprement, tels que le gaz naturel, pour réduire les rejets de substances chimiques inscrites à l'Annexe C;
 - Le danger potentiel de brûler des déchets domestiques dans ces appareils;
 - Un fonctionnement efficace des appareils pour assurer une combustion complète du combustible.
- Une information simple, facile à comprendre, sur les effets des composés chimiques énumérés à l'Annexe C sur la santé humaine et sur l'environnement, et sur l'importance des rejets issus des sources résidentielles;
- Des programmes pour ceux qui vendent et ceux qui achètent et travaillent avec les appareils de combustion, en soulignant les problématiques soulevées par les sous-sections 3.1 à 3.4.

3.6 La gestion de la combustion résidentielle

Une combustion complète du combustible est importante pour assurer des émissions réduites et pour obtenir une opération performante de l'appareil. Ceci peut se faire en assurant:

- Une température suffisante de combustion;

- Un débit d'air suffisant pour fournir assez d'oxygène pour la combustion;
- Un effort pour éviter une surcharge de combustible (pas plus que le feu ne peut brûler de manière efficace);
- Un mélange suffisant de l'air et des gaz chauds produits par le feu.

Des mesures spécifiques pour atteindre les buts recherchés telles que:

- Un combustible de bonne qualité et sec;
- Une récolte de bois suivi d'un bon vieillissement pour assurer qu'il sera sec au moment de le brûler;
- Le maintien d'un débit suffisant d'air (par ex. éviter que l'air entrant soit bloqué par des morceaux de bois);
- Suffisamment de place dans le foyer pour optimiser le débit d'air.

3.7 La gestion des émissions vers d'autres milieux

L'émission principale de composés chimiques énumérés dans l'Annexe C, venant de la combustion résidentielle, se fait dans l'air. Des cendres et de la suie sont aussi rejetées, et lorsque qu'elles proviennent de la combustion de bois propre ou de biomasse, contiennent typiquement de faibles quantités des composés chimiques inscrits à l'Annexe C. De petites quantités de cendres peuvent être utilisées sans risque comme engrais, tant qu'elles ne sont pas épandues au même endroit de manière régulière. Les plus grandes quantités devraient être éliminées dans une décharge sanitaire.

4 Mise en œuvre efficace des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales

Dans la plupart des cas, les utilisateurs de dispositifs améliorés de combustion auront une compréhension minimale ou nulle des effets néfastes sur la santé et l'environnement des composés chimiques inscrits à l'Annexe C. Un accroissement de la prise de conscience de ces problèmes peut aider à encourager une utilisation efficace de ces appareils, et aussi à éviter des pratiques telles que l'utilisation des déchets ménagers comme combustible. Les Gouvernements devraient inclure dans leurs programmes de formation et de prise de conscience des informations sur les impacts des rejets de composés chimiques inscrits l'Annexe C, venant d'appareils domestiques de combustion tels les poêles, les fours et d'autres équipements.

Des obstacles possibles et des options pour une mise en œuvre efficace des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales sont abordées par Atikullah S.M. and Ensun M. (2003). Elles sont résumées dans le Tableau 8 ci-dessous.

■ Tableau 8. Obstacles possibles et options pour une mise en œuvre efficace des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales pour les appareils de combustion résidentiels

Obstacles	Options pour une mise en œuvre efficace des meilleures techniques disponibles et meilleures pratiques environnementales
Mauvaise relation entre la conception du dispositif et les types de combustibles utilisés et disponibles	La conception de l'appareil devrait être spécifique aux besoins de la communauté. Une évaluation détaillée des besoins de la communauté devrait être entreprise avant la mise en œuvre de tout modèle particulier
Manque de connaissance du public au sujet des technologies améliorées	Les Gouvernements et les communautés devraient utiliser les moyens appropriés (par exemple, les masse média, les campagnes de sensibilisation) pour faire connaître et rendre populaire les équipements améliorés. Des programmes de formation au niveau des communautés sont importants pour assurer que les instruments sont appropriés et pour éliminer l'utilisation possible de combustible inapproprié tel les déchets ménagers.
Manque de capacité locale pour entretenir et réparer les équipements améliorés	Une mise en œuvre de programmes de formation pour établir une capacité au niveau de l'entretien et de la réparation des équipements est importante.
Manque de ressources pour l'achat, l'utilisation et l'entretien des appareils	Les personnes à bas revenu seront attirées par les appareils améliorés si elles sont convaincues que de tels appareils ne seront pas un fardeau financier supplémentaire, et seront rentables, vu leur prix, du point de vue de leur utilisation et entretien.
Manque de compréhension au sujet des impacts sur la santé des composés chimiques inscrits à l'Annexe C, et d'autres polluants	Favoriser la prise de conscience au sujet des impacts possibles sur la santé de la pollution de l'air à l'intérieur des habitations (y compris les composés de l'Annexe C) à cause de l'utilisation inappropriée d'appareils ménagers de chauffage/cuisson et de combustibles.

Des sources additionnelles d'information sur le brûlage propre et une conception améliorée de poêles à bois sont fournies dans les références.

■ Encadré 1 Prise de conscience et éducation: études de cas

Tandis que les approches réglementaires ci-dessous se focalisent sur les particules, elles présentent des avantages additionnels en vue de la réduction des PCDD/PCDF, qui peuvent être formés par une combustion incomplète. La réduction des émissions de particules réduira par la même occasion aussi les émissions de PCDD/PCDF étant donné que les PCDD/PCDF sont adsorbés sur les particules.

Etude de cas 1: La Nouvelle-Zélande

La pollution urbaine due aux émissions issues de la combustion résidentielle du bois est un problème très répandu. En Nouvelle-Zélande, plusieurs villes et cités souffrent d'une qualité médiocre de l'air en hiver due aux émissions de combustion domestique pour le chauffage. Des dépassements de la norme environnementale nationale pour les particules fines qui est de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (sur une moyenne de 24 heures) sont courants, et dans quelques régions cela peut se produire pendant plus de 30 jours par an. Cela a le potentiel de contribuer aux rejets des émissions nationales de PCDD/PCDF. Le problème est historique, avec la prévalence de maisons non isolées thermiquement résultant de l'offre généreuse (et souvent gratuite) du bois ou du charbon. Ceci a des implications socio-économiques importantes pour les autorités locales en charge de réduire la pollution de l'air.

Une campagne de sensibilisation sur les émissions produites par la combustion résidentielle a été entreprise dans quatre petites villes de Nouvelle-Zélande en 2005/2006. La principale conclusion de la campagne a été l'importance de proposer des solutions faites «sur mesure» pour chaque communauté locale (et non pas «une taille unique» pour tous). Cela a nécessité une collaboration étroite avec des partenaires-clés tels les professionnels de la santé venant des communautés, et aussi des fondations, mais s'est avéré très réussi, en créant des synergies positives pour l'action communautaire et la prise de conscience.

Etude de cas 2: La Tasmanie, l'Australie

Dans plusieurs parties de l'Australie du sud, les appareils de chauffage au bois sont couramment utilisés pour chauffer les maisons. Launceston, Tasmanie (avec une population d'environ 10'000) a eu en moyenne un dépassement de 14 fois la norme mensuelle de particules fines en hiver, principalement à cause des émissions des chauffages à bois.

En 2001, un programme de remplacement des chauffages au bois a été introduit pour améliorer la qualité de l'air et depuis lors, environ 25% des chauffages au bois ont été retirés grâce aux incitations financières visant à remplacer les anciens chauffages à bois polluants par des équipements plus propres. En même temps, une campagne ciblée sur l'éducation des communautés a été lancée (site Internet: Launceston Air Quality) en même temps qu'une réglementation plus restrictive sur les émissions de particules issues des appareils neufs de chauffage au bois, les limitant à 4 g/kg (émission/kilogramme de bois brûlé).

Une étude en 2005 a trouvé que le programme a eu un effet accélérateur sur la tendance existante de la disparition progressive des chauffages à bois, et a contribué à l'amélioration de la qualité de l'air. Bien qu'il n'y ait aucune donnée disponible, il est fort probable qu'il y a eu une diminution des émissions de dioxine. En 2006, pour la première fois, Launceston n'a pas connu de dépassement de la norme australienne pour les émissions de particules fines.

Références

Atikullah S.M. and Eusuf M. 2003. «Biomass Crisis and Improved Stoves in Bangladesh.» *Renewable Energy Newsletter* 1:2. Bangladesh Centre for Advanced Studies, Dhaka.

Berdowski J.J.M., Baas J., Bloos J.P.J., Visschedijk A.J.H. and Zandveld P.Y.J. 1997. *The European Emission Inventory of Heavy Metals and Persistent Organic Pollutants*. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Forschungsbericht 104 02 672/03. TNO, Apeldoorn, Netherlands.

CPSC (Consumer Product Safety Commission). 2004. *What You Should Know about Combustion Appliances and Indoor Air Pollution*. CPSC Document 452. www.cpsc.gov/CPSCPUB/PUBS/452.html.

Gullet *et al* 1999, *Organohalogen and Compounds* Vol.41, 157-168, 1999.

Karve P. 2000. *International Conference on Biomass-Based Fuels and Cooking Systems (BFCS-2000): A Report*. solstice.crest.org/discussiongroups/resources/stoves/Karve_Conference/BFCSrprt.htm.

Lassen C. *et al*. 2002. *Inventory of Dioxin and Furan Releases in Poland*. Report by Danish Cooperation for the Environment in Eastern Europe (DANCEE) and Ministry of the Environment Poland.

Lassen C., Hansen E., Jensen A.A., Olendrzy ski K., Kołsut W., urek J., Kargulewicz I., D bski B., Sko kiewicz J., Holzer M., Grochowalski A., Brandte E., Poltimae H., Kallaste T. and Kapturauskas J. 2003. «Survey of Dioxin Sources in the Baltic Region.» *Environ. Sci. Pollut. Res.* 10:49–56.

Launceston Air Quality. www.launceston.tas.gov.au/airquality.php.

Lavric E.D., Konnov A.A. and De Ruyck J. 2004. «Dioxin Levels in Wood Combustion: A Review.» *Biomass and Bioenergy* 26:115–145.

PCIA (Partnership for Clean Indoor Air). www.pciaonline.org/.

RWEDP (Rural Wood Energy Development Programme in Asia). www.rwedp.org/p-stoves.html.

Thanner G. and Moche W. 2002. *Emissions of Dioxins, PCBs and PAHs from Domestic Heating*. Monographs Vol. 153. Federal Environmental Agency, Vienna, Austria.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2005. *Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases*. UNEP, Geneva. www.pops.int/documents/guidance/Toolkit_2005.pdf.

Autres sources

Gouvernement d'Australie. 2004. *Hot Tips for Cleaner Wood Heating*. Natural Heritage Trust, Australia.

Pfeiffer F., Struschka M., Baumbach G., Hagenmaier H. and Hein K.R.G. 2000. «PCDD/PCDF Emissions from Small Firing Systems in Households.» *Chemosphere* 40:225–232.

Design principles of wood burning cookstoves, PCIA website (Nov. 2006) http://www.pciaonline.org/assets/20060710-Design_Principles_ES.pdf

Biomass Energy Technology, http://www.rwedp.org/d_technodc.html (Nov. 2006)



<http://www.pops.int>

UNEP/SSC/BATBEP/2008/8

Section V.IV Section V.A Section V.B Section V.C Section V.D Section V.A Section V.B Section V.C Section V.D Section V.I.A Section V.I.B Section V.I.C Section V.I.D Section V.I.E Section V.I.F Section V.I.G Section V.I.H Section V.I.I Section V.I.J Section V.I.K Section V.I.L Section V.I.M

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

La combustion de combustibles fossiles
dans les chaudières de centrales
et les chaudières industrielles



Le contenu de cette publication peut être reproduit à des fins éducatives ou sans but lucratif, dans son intégralité ou en partie, quelque soit le format, sans autre permission spéciale, pourvu que la source soit parfaitement identifiée. Le Secrétariat de la Convention de Stockholm et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) souhaiteraient recevoir une copie de tout ouvrage utilisant cette publication comme référence. Cette publication ne peut faire l'objet de revente ou toute autre activité commerciale sans l'accord préalable et par écrit du PNUE.

Publiée par le Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en octobre 2008. Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser au:

Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Genève, Suisse
ssc@pops.int - www.pops.int

Mise en page et impression par: SRO-Kundig - Genève

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

T A B L E D E S M A T I È R E S

SECTION I: INTRODUCTION

- I.A** OBJECTIF
- I.B** STRUCTURE DU DOCUMENT ET UTILISATION DES DIRECTIVES ET CONSEILS
- I.C** PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C: DÉFINITIONS, RISQUES, TOXICITÉ
- I.D** ARTICLE 5 ET L'ANNEXE C DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- I.E** LIEN AVEC LA CONVENTION DE BÂLE
- I.F** LIEN AVEC D'AUTRES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

SECTION II: CONSIDÉRATIONS D'ALTERNATIVES DANS L'APPLICATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

- II.A** CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES DANS LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- II.B** LA CONVENTION DE STOCKHOLM ET LES SOURCES NOUVELLES
- II.C** UNE APPROCHE À LA CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES
- II.D** AUTRES CONSIDÉRATIONS DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM

SECTION III: MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES: DIRECTIVES, PRINCIPES ET CONSIDÉRATIONS CROISÉES

- III.A** DIRECTIVES
- III.B** PRINCIPES ET APPROCHES GÉNÉRAUX
- III.C** CONSIDÉRATIONS CROISÉES:
 - (i) PRODUITS CHIMIQUES DE L'ANNEXE C: MÉCANISMES DE FORMATION
 - (ii) CONSIDÉRATIONS SUR LA GESTION DES DÉCHETS
 - (iii) EFFETS BÉNÉFIQUES ADDITIONNELS DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LES PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C
 - (iv) GESTION DES GAZ DE PROCÉDÉ ET D'AUTRES RÉSIDUS
 - (v) FORMATION DES DÉCIDEURS ET DU PERSONNEL TECHNIQUE
 - (vi) MESURES, SUIVI ET PRÉSENTATIONS DES RAPPORTS

SECTION IV: COMPILATION DES RÉSUMÉS DES CATÉGORIES DES SOURCES INCLUSES DANS LES SECTIONS V ET VI

RESUMES DE LA SECTION V: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

RESUMES DE LA SECTION VI: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

SECTION V: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DE SOURCES: CATEGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

- V.A** LES INCINÉRATEURS DE DÉCHETS
- (i) DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, DÉCHETS DANGEREUX ET DE BOUES D'ÉPURATION
 - (ii) DÉCHET MÉDICAUX
- V.B** LE BRULAGE DE DÉCHETS DANGEREUX DANS LES FOURS A CIMENT
- V.C** LA PRODUCTION DE PÂTE À PAPIER UTILISANT LE CHLORE ÉLÉMENTAIRE, OU DES SUBSTANCES CHIMIQUES GÉNÉRANT DU CHLORE ÉLÉMENTAIRE
- V.D** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
- (i) PRODUCTION DU CUIVRE SECONDAIRE
 - (ii) USINES DE FRITTAGE DANS L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER
 - (iii) PRODUCTION D'ALUMINIUM SECONDAIRE
 - (iv) PRODUCTION DU ZINC SECONDAIRE

SECTION VI: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DES SOURCES: CATÉGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

- VI.A** LA COMBUSTION À CIEL OUVERT DE DÉCHETS, Y COMPRIS DANS LES DÉCHARGES
- VI.B** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE AUTRES QUE CEUX MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE C PARTIE II
- (i) PRODUCTION DU PLOMB SECONDAIRE
 - (ii) PRODUCTION D'ALUMINIUM PRIMAIRE
 - (iii) PRODUCTION DE MAGNESIUM
 - (iv) PRODUCTION D'ACIER SECONDAIRE
 - (v) PREMIÈRE FUSION DES MÉTAUX DE BASE

VI.C	LES SOURCES DE COMBUSTION RÉSIDENTIELLES
VI.D	LA COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES DANS DES CHAUDIÈRES DE CENTRALES ET LES CHAUDIÈRES INDUSTRIELLES
VI.E	LES INSTALLATIONS DE BRÛLAGE DE BOIS ET DE COMBUSTIBLES ISSUS DE LA BIOMASSE
VI.F	LES PROCÉDÉS SPÉCIFIQUES DE PRODUCTION DE SUBSTANCES CHIMIQUES ENTRAÎNANT DES REJETS DE SUBSTANCES INSCRITES À L'ANNEXE C
VI.G	LES FOURS CRÉMATOIRES
VI.H	LES VÉHICULES À MOTEUR, NOTAMMENT CEUX UTILISANT DE L'ESSENCE AU PLOMB
VI.I	LA DESTRUCTION DE CARCASSES D'ANIMAUX
VI.J	LA TEINTURE DE TEXTILES OU DU CUIR (AU CHLORANILE) ET LA FINITION (EXTRACTION ALCALINE)
VI.K	LES INSTALLATIONS DE BROYAGE DES ÉPAVES DE VÉHICULES
VI.L	LE CHAUFFAGE LENT DE CÂBLES EN CUIVRE
VI.M	LES RAFFINERIES D'HUILES USÉES

Section VI.D

**Directives/conseils par catégorie des sources:
Catégories des sources dans la Partie III de l'Annexe C**

Partie III Catégories de source (d): La combustion de combustibles fossiles dans les chaudières de centrales et les chaudières industrielles

T A B L E D E S M A T I È R E S

VI.D	Chaudières industrielles et de production d'électricité à combustibles fossiles	9
1.	Introduction	9
1.1	Principe de base des chaudières	9
1.2	Types de chaudière	11
2.	Génération de PCDD/PCDF, de PCB et du HCB dans la combustion	12
2.1	PCDD et PCDF	12
2.2	PCB et HCB.....	14
3.	Effet du type de combustible sur la génération des émissions	15
3.1	Carburant légers et gaz naturel.....	15
3.2	Fioul lourd.....	15
3.3	Charbon	15
3.4	Lignite.....	15
3.5	Co-combustion avec d'autres types de combustibles.....	16
4.	Estimation des émissions de polluants organiques persistants des chaudières.....	17
5.	Les meilleures mesures environnementales	18
6.	Meilleures techniques disponibles.....	18
6.1	Mesures primaires	19
6.2	Mesures secondaires; dispositifs de contrôle de la pollution de l'air	20
6.3	Autres considérations.....	21
7.	Niveaux de performances possibles en associant les meilleures solutions techniques	23
	Références	24
	Autres sources	25

Annexes

Annexe I.	Facteurs d'émission ^a pour les PCDD/PCDF provenant de la combustion contrôlée de charbons bitumineux et sous-bitumineux (ng/kg ^b).....	23
-----------	---	----

Tableaux

Tableau 1.	Facteurs d'émission pour des unités de production industrielle d'électricité et de chaleur, brûlant des combustibles fossiles.....	17
------------	--	----

Tableau 2. Concentration de traces de substances organiques (ng/Sm³ à 12% O₂)^a avec des combustibles dérivés des déchets.....20

Tableau 3. Résumé des mesures recommandées pour les centrales et les chaudières industrielles à combustible fossile.....22

Figures

Figure 1. Lieux possibles de formation de PCDD et PCDF dans une chaudière13

■ Résumé

Les chaudières de centrales et les chaudières industrielles sont conçues pour chauffer de l'eau, de la vapeur d'eau ou pour produire de l'électricité à partir de la combustion de carburants fossiles. Les concentrations volumétriques des substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm dans les émissions des chaudières brûlant des combustibles fossiles sont généralement très faibles. Cependant la multiplicité des chaudières fait que les émissions totales en termes de tonnage et de distribution sont loin d'être insignifiantes pour la génération d'électricité et la production de chaleur ou de vapeur.

Les mesures concrètes envisageables pour réduire la formation et le rejet de substances chimiques inscrites à l'Annexe C sont: entretenir une combustion totale, s'assurer que le combustible n'est pas contaminé par des PCB, du HCB ou du chlore et que les concentrations des composants catalyseurs pour la formation des PCDD et PCDF sont faibles, utiliser des méthodes de lavage des émissions gazeuses et des rejets appropriées, et enfin adopter des stratégies concernant l'élimination, le stockage ou la réutilisation des cendres obtenues.

Les niveaux d'émission des PCDD/PCDF associés aux meilleures techniques disponibles peuvent être notablement inférieurs à 0,1 ng I-TEQ/Nm³ (contenu d'oxygène: 6% pour les combustibles solides, et 3% pour les combustibles liquides)

1. Introduction

1.1 Principes de base des chaudières

Les chaudières sont des équipements conçus pour brûler un carburant afin de chauffer l'eau ou de produire de la vapeur. La majorité des chaudières emploient des combustibles fossiles pour fournir la source d'énergie, bien que des chaudières puissent également être conçues pour brûler la biomasse et les déchets. La vapeur produite par la chaudière peut être employée pour la production d'électricité ou être utilisée dans des procédés industriels; de même, l'eau chaude peut être employée dans des procédés industriels, ou pour le chauffage domestique et industriel. Il y a des différences significatives entre les chaudières de production d'électricité et les chaudières industrielles; les différences principales peuvent se trouver dans trois secteurs principaux:

- Les dimensions des chaudières
- Les applications pour la vapeur et l'eau chaude produites par les chaudières
- La conception des chaudières

1.1.1 Dimensions des chaudières

Les chaudières pour la production d'électricité sont très grandes par rapport aux chaudières industrielles modernes (parfois connues sous le nom de chaudières industrielles/commerciales/institutionnelles). Une grande chaudière typique pour la production d'électricité produit environ 1'600 tonnes de vapeur par heure comparée à environ 45 tonnes de vapeur pour la chaudière industrielle moyenne, bien que les chaudières industrielles puissent être dix fois plus petites ou dix fois plus grandes (CIBO 2002).¹

1.1.2 Utilisation de la vapeur produite

Les chaudières d'électricité sont conçues pour générer la vapeur à un débit constant pour des turbines de puissance produisant l'électricité. En raison de cette demande régulière de vapeur, elles fonctionnent généralement en continu en régime stationnaire, bien que des fluctuations des besoins énergétiques fassent que certaines installations font varier leurs conditions opératoires sur une base journalière.

En revanche, les chaudières industrielles ont des objectifs assez différents selon leur utilisation et la demande pour la vapeur peut varier selon l'activité industrielle et les procédés fonctionnant à un moment donné, ainsi que les besoins en vapeur; on peut comparer, par exemple, la production et l'utilisation d'eau chaude et de vapeur pour le conditionnement des aliments, aux demandes fluctuantes d'une grande chaudière d'hôpital. Les besoins très changeants signifient que la chaudière industrielle ne fonctionnera pas généralement au maximum de ses capacités, ce qui n'empêche pas que sa conception soit optimisée pour tenir compte de l'unité industrielle et de son opération. En général, ce type de chaudière aura une capacité et une charge opérationnelle annuelles bien plus faibles qu'une chaudière destinée à produire de l'électricité.

1.1.3 Conception des chaudières

Les chaudières dans les centrales sont de très grandes unités utilisant surtout du charbon pulvérisé, du fioul, ou du gaz naturel à haute pression et haute température. Ces chaudières ont des techniques de combustion similaires. Les chaudières industrielles quant à elles, peuvent être équipées d'une large gamme de systèmes de combustion bien qu'elles soient prévues généralement pour un seul combustible. Les centrales électriques sont implantées et conçues autour des chaudières et des turbines, et leurs dimensions permettent des économies importantes en ce qui concerne le contrôle des émissions. Cependant, la conception des chaudières industrielles peut être limitée par la nécessité de s'adapter aux demandes énergétiques variables et aux exigences d'espace disponible. Tout ceci peut mener à plus de difficultés pour la mise en œuvre des contrôles efficaces des émissions venant des chaudières industrielles.

1.2 Types de chaudières

1.2.1 Chaudières pour la production d'électricité

Ces chaudières sont généralement conçues suivant la configuration du four de combustion:

- Allumage tangentiel: Utilisé normalement pour le charbon pulvérisé mais peut aussi être utilisé pour le fuel ou le gaz; une seule flamme parallèle à l'axe central du four avec le mélange combustible projeté des quatre coins du four.
- Allumage par les parois: Plusieurs brûleurs placés sur une ou plusieurs parois opposées, allumant du charbon pulvérisé ou du gaz naturel.
- Allumage à cyclone: typiquement pour la combustion du charbon broyé, ou le mélange air fuel est brûlé dans des cylindres horizontaux.
- Allumage mécanique: Pour les unités anciennes brûlant tous type de combustible solide; alimentation mécanique alimentant le foyer à grille avec enlèvement des résidus de cendre.
- Combustion à lit fluidisé: Combustion efficace à température plus faible grâce à un mélange turbulent dans la zone de combustion et à un apport en charbon broyé et d'éventuels absorbants afin d'éliminer des polluants, en particulier le dioxyde de soufre.
- Combustion à lit fluidisé pressurisé: similaire à la combustion en lit fluidisé où la zone de combustion est à une pression supérieure à la pression ambiante.

1.2.2 Chaudières industrielles/commerciales/institutionnelles

Les chaudières industrielles/commerciales/institutionnelles, se reconnaissent normalement au mode de transfert de chaleur et au système de combustion utilisé. Une étude détaillée des divers types de chaudière se trouve à Oland 2002. En résumé, les systèmes de transfert de chaleur sont:

- Chaudières à tubes d'eau: des tubes contenant de l'eau sont en contact direct avec les gaz chauds de combustion. Elles sont couramment utilisées dans des installations fonctionnant au charbon mais elles acceptent presque tout type de combustible, y compris le fuel, le gaz, la biomasse, les déchets solides municipaux et les combustibles dérivés des pneus.
- Chaudières à tubes de gaz chaud: L'eau passe autour des tubes de gaz ou circulent les gaz issus de la combustion. L'utilisation du procédé est assez courante pour les chaudières brûlant le charbon pulvérisé, le gaz, le fioul mais aussi la biomasse. Elles sont utilisées généralement pour les applications de plus faible pression.
- Chaudières en fonte: les sections en fonte de la chaudière sont munies de passages pour à la fois l'eau et le gaz de combustion. Elles sont utilisées pour la production d'eau chaude et de vapeur à faible pression et sont normalement alimentées au fuel ou au gaz et parfois au charbon.

Les systèmes de combustion sont principalement:

- Foyers mécaniques: il en existe une grande variété. Ceux alimentés par le bas où le combustible et l'air sont entrant par en dessous de la grille, envoyant les cendres sur un côté ou vers l'arrière, et ceux alimentés par le haut, soit en vrac soit par épandage du combustible, l'air arrivant en dessous de la grille. Les foyers mécaniques avec épandage et grille fixe sont très utilisés dans l'industrie du sucre pour brûler la bagasse.
- Brûleurs: Ces ensembles gèrent l'arrivée du mélange air/fuel dans le four dans des conditions de vitesse, de turbulence et de concentration appropriées afin d'assurer l'allumage et d'entretenir la combustion.

2. Génération des PCDD/PCDF, des PCB et de l'HCB dans la combustion

Dans un système de combustion bien géré, les produits volatiles devraient passer suffisamment de temps à haute température, et avoir aussi suffisamment d'oxygène et de turbulence pour permettre une combustion régulière et complète. Lorsque ces conditions ne sont pas remplies, les émissions dans l'air de produits potentiellement toxiques tels que les dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD), les dibenzofuranes polychlorés (PCDF), les polychlorobiphényles (PCB) et l'hexachlorobenzène (HCB) peuvent être produites pendant la combustion et peuvent en sortir (Van Remmen 1998; UNEP 2005).

Dans de grandes centrales bien contrôlées brûlant des combustibles fossiles, la formation de PCDD et de PCDF (et d'autres polluants organiques persistants) est faible car l'efficacité de combustion est généralement élevée, le procédé est stable et les combustibles utilisés sont homogènes. Il est cependant encore possible que des émissions assez importantes puissent avoir lieu car de grands volumes de gaz sont émis avec des teneurs en PCDD et PCDF faibles (UNEP 2005). Dans des installations plus petites, moins bien contrôlées, il existe une possibilité de formation et d'émissions de polluants organiques persistants à des concentrations plus élevées mais avec des productions globales plus faibles, et donc une émission globale plus faible de tels polluants.

2.1 Les PCDD et PCDF

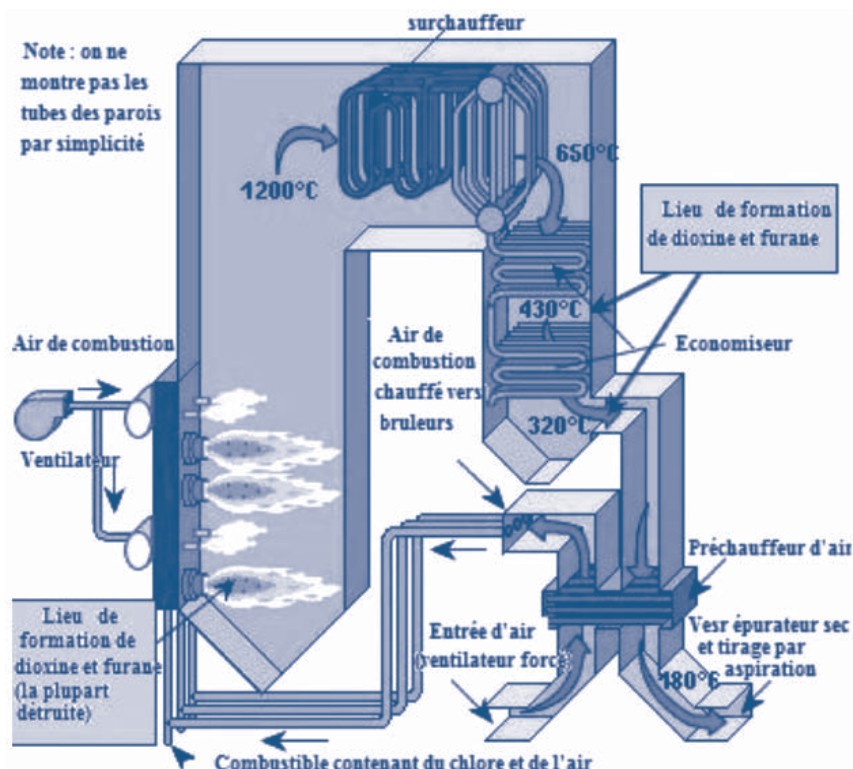
2.1.1 Génération de PCDD/PCDF

Il est connu que l'utilisation de combustibles fossiles dans des chaudières industrielles ou de production d'électricité, génère beaucoup moins de PCDD/PCDF que la combustion de combustibles dérivés des déchets (Sloss and Smith 1993; Sloss 2001; Dyke 2004). Griffin, en 1986, a proposé une hypothèse pour expliquer la formation de PCDD et de PCDF comme étant le résultat du rapport soufre/chlore du combustible utilisé (Griffin 1986). L'hypothèse précise que dans le charbon, le rapport soufre/chlore est de 5, rapport bien supérieur à celui des déchets municipaux solides. L'excès de soufre dans

les combustibles fossiles tels que le charbon, le pétrole et le gaz, permet de capturer le chlore moléculaire, empêchant ainsi la formation d'aromatiques chlorés, ce qui n'est pas le cas lors de l'utilisation de combustibles dérivés de déchets, pour lesquels le chlore est excédentaire par rapport au soufre.

Les PCDD/PCDF sont produits par une grande variété de mécanismes. La figure 1 est une représentation schématique des lieux possibles de formation des PCDD/PCDF dans une chaudière. D'autres détails sur la formation des PCDD/PCDF paraissent à la section III.C (i) de ce document.

■ **Figure 1. Lieux possibles de formation de PCDD et PCDF dans une chaudière**



Source: Richards 2004, mais modifié

2.1.2 Mécanisme de contrôle des PCDD et PCDF

Les conditions de combustion, la qualité du combustible et la configuration de l'installation, ainsi que les conditions opératoires peuvent avoir une influence majeure sur la formation des PCDD/PCDF. Il a été démontré (Williams 1994; Eduljee and Cains 1996) que les conditions de combustion peuvent être améliorées pour réduire les émissions de PCDD. Lemieux (1998) résume le travail fait à l'Environmental Protection Agency (EPA) aux Etats-Unis qui montre, en ordre décroissant d'importance, les principaux paramètres qui peuvent être contrôlés pour réduire les émissions des PCDD et PCDF.

1. Qualité de la combustion indiquée par:
 - Le monoxyde de carbone (CO), masse totale d'hydrocarbures, formation de suie;

- Entraînement de particules, et degré de combustion.
2. Températures des systèmes de contrôle de la pollution des gaz;
 3. Composition des combustibles déchets:
 - Soufre
 - Métaux
 - Chlore

L'objectif du contrôle de ces paramètres peut être atteint dans les conditions suivantes (Lemieux 1998):

- Une température élevée uniforme dans la chambre de combustion
- Un bon mélange air/combustible
- Un minimum d'émanations gazeuses et de particules non brûlées
- Un débit d'alimentation constant
- Un contrôle en temps réel du CO et du total des hydrocarbures

Finalement, certains paramètres opérationnels réduisant les émissions de PCDD et PCDF ont été identifiés; ceux sont:

- Température faible à l'entrée du dispositif de contrôle des particules
- Minimisation du temps de résidence des gaz ou des particules, dans la fenêtre de température 200-400°C.

Comme mentionné précédemment, la présence de soufre peut inhiber la formation de PCDD, hypothèse fondée sur les émissions généralement faibles des centrales au charbon, et sur les résultats obtenus sur la co-incinération des charbons à haute teneur en soufre avec des combustibles dérivés de déchets (Tsai *et al.* 2002). Ainsi il y aurait un avantage à maintenir un ratio élevé soufre/chlore. (Luthe, Karidio and Uloth 1997). Cependant il faut reconnaître que l'utilisation de combustible à teneur élevée en soufre pourrait mener à d'autres pollutions de l'air.

2.2 PCB et HCB

Les émissions de PCB peuvent provenir de l'utilisation d'huiles de récupération, et d'autres combustibles dérivés de déchets. La combustion du charbon est la troisième source globale d'émissions de HCB (Bailey 2001). D'autres détails sur la formation de ces composés se trouvent à la section III.C (i) de ce guide. Les approches utilisées pour le contrôle des émissions des PCB et du HCB peuvent être similaires à celles mises en place pour les émissions des PCDD et PCDF.

3. Effet du type de combustible sur la génération des émissions

Les combustibles fossiles - charbon, mazout et gaz - sont utilisés pour la génération de vapeur dans les chaudières, soit seuls, soit en combinaison avec des combustibles énergétiques provenant d'autres procédés. Le type de combustible utilisé dépendra de sa disponibilité et de l'économie du procédé.

3.1 Carburant léger et gaz naturel

Les carburants légers et le gaz naturel sont toujours utilisés dans des brûleurs spéciaux et ils génèrent peu de PCDD et PCDF, puisque ces combustibles ont un haut pouvoir calorifique et brûlent proprement et sans cendres. En utilisant plus de gaz pour la génération d'électricité (en tant que remplacement du charbon et de produits pétrochimiques) il y aura une réduction des PCDD/PCDF dans le secteur de la génération d'électricité (UNECE 1998).

3.2 Fioul lourd

Le fioul lourd est utilisé pour la génération de vapeur et d'électricité et est normalement utilisé dans des brûleurs spéciaux, intégrés aux parois de la chaudière. Le fioul lourd, exempt de contaminants, donnera généralement de niveaux faibles d'émissions organiques.

3.3 Charbon

La combustion efficace du charbon dans de grandes centrales mène à des niveaux très faibles d'émissions (Rentz, Gütling and Karl 2002). L'utilisation du charbon dans des secteurs moins performants pourrait devenir source importante d'émissions locales (Sloss 2001). UNECE 1998 recommande que l'on améliore la performance énergétique et la conservation d'énergie de toutes les chaudières ayant une puissance supérieure à 50MW, comme stratégie de réduction des émissions résultant de besoins en carburant plus faibles. Cependant, il est reconnu que bien que les techniques pour la réduction des molécules, oxydes de soufre SO_x et oxydes d'azote NO_x , puissent mener à des réductions voire l'élimination des PCDD/PCDF (et probablement aussi les PCB et HCB), les efficacités d'élimination seront variables (voir aussi la Section III.C (iii) sur les effets bénéfiques additionnels). L'élimination du chlore dans les combustibles fossiles n'est pas considérée comme une mesure ayant un bon rapport coût/efficacité pour la réduction des PCDD et PCDF (UNECE 1998).

3.4 Lignite

Les centrales au lignite sont implantées typiquement proches des régions minières. A cause de la capacité calorifique bien plus faible que celle du charbon, le lignite est plutôt acheminé au moyen de tapis roulant depuis l'aire de stockage de la mine jusqu'à la centrale. Les techniques appropriées à la génération d'électricité à partir du lignite sont la combustion de lignite pulvérisé et la combustion en lit fluidisé. Avec des températures de combustion plus faibles, les chaudières au lignite pulvérisé peuvent atteindre les

normes d'émission actuelles pour les NO_x en utilisant des mesures primaires. Donc elles ne nécessitent pas l'utilisation d'une réduction catalytique sélective.

Les émissions produites par la combustion du lignite se situent dans un intervalle de 0,0002 à 0,04 ng I-TEQ/Nm³ (DETZEL *et al.* 1998).²

3.5 La co-combustion avec d'autres types de combustibles

La plupart des centrales électriques utilise un seul combustible, mais il est possible de modifier la chaudière et l'équipement de traitement du combustible pour introduire d'autres matériaux dans le mélange qui alimente la chaudière, par exemple des déchets. Ce procédé de co-combustion veut dire que l'on utilise plus d'un combustible à la fois.

Les chaudières sont cependant souvent limitées dans leurs possibilités d'utiliser des combustibles alternatifs, ou dérivés de déchets, à cause de l'absence de systèmes de contrôle des émissions d'acide chlorhydrique, et parfois aussi à cause de limitations dans les conditions de combustion, et de problèmes dus à la corrosion des chaudières. Potentiellement, le risque d'émissions de polluants organiques persistants est plus grand si l'efficacité de combustion de la chaudière travaillant en co-combustion n'est pas optimisée par une reconfiguration et un bon contrôle du système.

Les déchets (connus aussi comme combustibles dérivés des déchets) sont des matériaux riches en énergie, comme les huiles usagées, les pneus, les déchets de bois, et les solvants usagés et peuvent être substitués au combustible fossile comme source d'énergie thermique. Cependant un grand nombre de ces dérivés de déchets, qui ont de faibles capacités calorifiques (tels que les boues d'épuration), sont également incinérés. La contamination possible de déchets par des matériaux ou polluants indésirables peut être un problème avec ce type de combustible. Plus précisément, la présence de PCB, HCB et de chlore dans ces déchets devrait être à la fois soit évitée, soit contrôlée. Pour des conseils supplémentaires sur les facteurs liés à l'utilisation de ce type de combustible alternatif, et les implications, se référer aux sections sur les incinérateurs de déchets, le brûlage de déchets dangereux dans les fours à ciment, les installations de brûlage de bois et autres combustibles issus de la biomasse, et les raffineries d'huiles usées (sections V.A, V.B, VI.E et VI.M du présent guide).

Le contrôle de la qualité du combustible et de bonnes conditions de combustion, en combinaison avec un bon dispositif de collecte, semblent offrir la meilleure stratégie de contrôle si l'on veut minimiser les polluants organiques persistants, lorsque des déchets sont ajoutés aux combustibles normaux. Pour un fonctionnement optimisé, ces déchets devraient être exclus du procédé lors du démarrage et de l'arrêt de l'installation, et en régime stationnaire, quand les conditions de combustion risquent de n'être ni stabilisées ni contrôlées.

La co-incinération de déchets devrait être effectuée de telle manière à ce que les options pour l'élimination des déchets (par ex. cendres volantes, cendres grossières, résidus de traitement des gaz) ne soient pas affectées de manière négative (voir section V.A (les incinérateurs de déchets) de ces directives).

Si on n'atteint pas une valeur de 0,1 ng/Nm³ pour les émissions, d'autres mesures secondaires existent et doivent être mises en place.

4 Estimation des émissions de polluants organiques persistants des chaudières

La mesure de concentrations faibles de PCDD, de PCDF, de PCB et d'HCB résultant de la combustion de combustibles fossiles dans les chaudières, représente un défi technique et coûteux par rapport aux mesures nécessaires pour les polluants de référence tels que le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, et les matières particulaires. Bien que l'on privilégie la mesure directe des polluants organiques persistants afin d'enrichir la base de connaissance sur ces émissions, il est vrai que dans certaines circonstances cela ne sera pas possible excepté pour les grandes unités bien équipées techniquement.

Dans un procédé de combustion efficace, les niveaux de concentration peuvent être largement inférieurs aux normes en vigueur (Brain *et al.*, cité dans Sloss 2001). Il en résulte que les PCDD, PCDF, PCB et HCB peuvent être présents mais à des niveaux indétectables par les méthodes analytiques courantes.

Une alternative à la mesure directe est le calcul d'émissions supposées, connaissant le type de combustible, le débit de combustion ainsi que les conditions opératoires. On donne au Tableau 1 quelques facteurs d'émissions pour des PCDD/PCDF (I-TEQ) dans le cas de différents procédés de chaudières, avec des informations supplémentaires sur des congénères cités à l'annexe I de la présente section (UNEP 2005).

■ **Tableau 1. Facteurs d'émission pour des unités de production industrielle d'électricité et de chaleur, brûlant des combustibles fossiles**

Classification	Facteurs d'émission en µg TEQ/TJ de combustibles fossile consommés		
	Air	Eau	Résidus
1 Chaudières associant combustibles fossiles et dérivés de déchets	35	n.d.	n.d.
2 Chaudières au charbon	10	n.d.	14
3 Chaudières au fioul lourd	2,5	n.d.	n.d.
4 Centrales à l'huile de schiste	1,5	n.d.	*
5 Chaudières au mazout et gaz naturel	0,5	n.d.	n

* Les rejets avec résidus peuvent être calculés sur la base de la masse

Sources: UNEP 2005

ND: Non déterminé

a. Ces facteurs d'émission par défaut sont basés sur la supposition que les carburants brûlés mènent à des rejets de PCDD/PCDF associés à l'élimination des cendres volantes. Les émissions liées aux cendres résiduelles sont négligeables. L'efficacité de récupération des particules augmente aussi avec la qualité du système de contrôle de pollution de l'air, en place dans la chambre de combustion. (UNEP 2003).

b. Unité de débit d'énergie: µg TEQ/TJ de combustible consommé

Les informations sur les émissions de PCDD/PCDF sont plus facilement disponibles que pour les PCB et l'HCB. Lorsque des combustibles dérivés de déchets représentent une partie importante des combustibles, il est approprié de chercher les facteurs d'émission dans le secteur de l'incinération des déchets (UNEP 2003). En ce qui concerne les PCB et HCB, il n'existe que très peu, voire aucune donnée concernant le secteur de la combustion en chaudières.

5. Meilleures pratiques environnementales

Les meilleures pratiques environnementales décrites dans ce paragraphe font partie des directives applicables à toute sorte de chaudière, quel que soit leur taille et leur type:

- Identifier les paramètres clés des procédés, soit à partir d'études sur le site même du procédé, soit à partir d'études faites sur installations similaires;
- Mettre en place des mesures qui permettent de contrôler les paramètres clés du procédé;
- Mettre en place des protocoles de suivi et de reportage pour les paramètres clés;
- Mettre en place, et suivre, des cycles de planification; mettre en œuvre des cycles appropriés d'inspection et de maintenance;
- Installer un système de gestion environnemental qui définit clairement les responsabilités à tous les niveaux;
- S'assurer que des ressources adéquates sont disponibles en vue de l'application de ces mesures environnementales;
- Mettre en place des améliorations au procédé pour réduire les goulots d'étranglement et les délais techniques;
- S'assurer que le personnel soit bien formé à l'application de ces mesures environnementales appliquées à leurs postes;
- Définir une spécification concernant les paramètres clés des combustibles, et introduire un protocole pour le suivi et la présentation des résultats;
- S'assurer de la gestion écologiquement rationnelle des cendres volantes, cendres lourdes et des divers résidus gazeux;
- S'assurer que lorsqu'il y a co-combustion avec de biomasse et de déchets, ces combustibles ne seront introduits que lorsque les conditions de combustion seront stables avec une température minimale de fonctionnement atteinte.

6. Meilleures techniques disponibles

Afin de réduire les émissions de polluants organiques persistants venant de centrales électriques et de chaudières industrielles, les étapes du procédé produisant et rejetant

de tels polluants doivent être optimisées lors de la conception et pendant le fonctionnement du procédé. Ces objectifs seront atteints si l'on considère:

- La qualité du combustible;
- Les conditions de combustion;
- L'installation de l'équipement le mieux adapté pour contrôler la pollution de l'air.

6.1 Mesures primaires

6.1.1 Spécifications pour le combustible, et suivi

Bien que des niveaux assez faibles de précurseurs nécessaires à la formation de substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm par la formation de gaz au dessus de 500°C, soient présents dans la plupart des combustibles, il faut faire attention de réduire autant que possible l'introduction involontaire de combustibles contaminés qui pourraient contribuer à la formation de polluants organiques persistants. Ceci est particulièrement vrai lorsqu'on procède à une co-incinération de combustible fossile avec d'autres types de combustibles. Il faudrait introduire des contrôles (c'est-à-dire, mesurer le taux de chlore des combustibles pour éviter l'introduction d'huiles usées contaminées aux PCB, par exemple) pour s'assurer que les combustibles respectent les spécifications requises.

6.1.2 Conditions de combustion

Afin d'assurer une combustion complète des polluants organiques persistants dans le combustible, il faut être particulièrement attentif aux quatre paramètres clés pour assurer une efficacité totale de destruction: température, durée, turbulence et excès d'oxygène (McKay 2002). Ceci permettra aussi la destruction de précurseurs, et réduira la formation de suie, réduisant ainsi le nombre de sites possibles pour une catalyse solide, dans l'effluent des gaz de refroidissement. Le Tableau 2 illustre l'influence des conditions de combustion sur les émissions de polluants à partir de combustibles dérivés des déchets. Bien que les valeurs du Tableau 2 soient plus élevées par rapport aux combustibles fossiles, elles démontrent bien l'influence significative des conditions de combustion (Environment Canada, cité par Dyke 2004).

■ Tableau 2: Concentration de traces de substances organiques (ng/Sm³ à 12% O₂) a pour la de déchets dérivés des déchets

Produit	Bonne combustion	Mauvaise Combustion
PCDD (total)	70-230	200-600
PCDF (total)	220-600	700-1300
Cl ₃₋₆ benzenes ^b	4000-6000	7000-16000

a. Sm³ = mètre cube standard, volume de gaz sec mesuré à 15°C et 101.3 kPa (comparé au Nm³, mètre cube normal, volume de gaz sec mesuré à 0°C et 101.3 kPa).

b. y compris tous les isomères tri-, tétra- et penta- aussi bien que l'hexa-chlorobenzène, complètement substitué.

Il est généralement accepté qu'une température au dessus de 900°C (McKay 2002), et un temps de résidence des gaz de 2 secondes sont suffisants pour une oxydation complète des PCDD, à condition toutefois que le débit de gaz soit suffisamment turbulent, et que l'oxygène soit en excès. McKay (2002) suggère que la température de la chambre de combustion doit être au dessus de 1000°C afin de s'assurer que tous les polluants organiques persistants sont oxydés.

D'autres facteurs importants sont l'excès d'air et les conditions de turbulence dans le four. Une forte turbulence évitera la formation de poches froides où la température d'oxydation ne serait pas atteinte. Elle permet aussi une distribution uniforme d'oxygène pour assurer une combustion totale, en évitant des zones sous-stoechiométriques si toutefois l'air est en excès. Pour évaluer l'efficacité de la combustion, un suivi du CO en temps réel peut être utile. Une combustion efficace s'accompagne d'un faible taux de CO (par exemple, 30 - 50 mg/Nm³, 6% d'oxygène pour du charbon pulvérisé; <100 mg/Nm³ pour la combustion en lit fluidisé) (European Commission 2003). Un taux élevé de CO indique une combustion incomplète et des conditions favorables à la création de polluants organiques persistants.

Lorsqu'on utilise un combustible solide on préférera des combustibles pulvérulents à faible humidité plutôt que des combustibles broyés ou granuleux, ceci pour optimiser le mélange et les conditions de combustion. L'évaporation est une réaction endothermique et lorsqu'on introduit de l'humidité dans un four, la température de combustion décroît. L'utilisation de combustibles pulvérulents permettra d'assurer des conditions isothermes à travers tout le four et un mélange optimal avec l'oxygène dans de bonnes conditions de turbulence.

6.2 Mesures secondaires; dispositifs de contrôle de la pollution de l'air

Des dispositifs de contrôle de la pollution de l'air peuvent être installés pour limiter encore plus les émissions, bien que dans le cas de centrales à combustibles fossiles et de chaudières industrielles, ces équipements représentent des mesures additionnelles ou secondaires. Pour de plus amples détails sur les dispositifs de contrôle de la pollution de l'air, on se référera à la section III.C (iv) de ce guide.

6.3 Autres considérations

Il faut préciser que la formation des PCDD, PCDF, PCB et HCB est complexe et que le fait d'éliminer les particules dans les gaz de combustion ne veut pas dire que des polluants organiques persistants ne seront pas émis. Ces techniques d'extraction, bien que très importantes pour notre environnement, ne représentent pas la seule solution. Comme il a déjà été mentionné, le contrôle de la qualité du combustible et de la combustion sont les étapes les plus importantes pour minimiser les émissions de ces polluants.

L'extraction de particules dans les gaz de combustion pourrait produire une certaine quantité de déchets poudreux contaminés qui doit être manipulée avec précaution comme un matériau pouvant contenir des polluants organiques persistants (UNECE 1998). Habituellement, les produits de combustion, comme les cendres volantes et résiduelles provenant de la combustion du charbon pulvérisé, contiennent des teneurs résiduelles très faibles de polluants organiques persistants, avec les PCDD à moins de 1 pg I-TEQ/g (Meij and te Winkel 2001). Les méthodes d'élimination seront choisies préférentiellement sur la base de la prévention du rejet d'autres contaminants, plutôt que sur la base de polluants organiques persistants qui pourraient être présents. Pour les résidus contenant des niveaux de contamination plus élevés, d'autres techniques sont conseillées pour la réduction de ces polluants organiques avant élimination. Parmi ces techniques, on trouve le traitement catalytique à basse température et à des teneurs en oxygène plus faibles, l'extraction des métaux lourds suivi d'une combustion pour détruire les matières organiques, la vitrification et la technologie au plasma. (UNECE 1998).

Un résumé des mesures représentant les meilleures solutions environnementales et les meilleures techniques disponibles est présenté au Tableau 3.

■ Tableau 3. Résumé des mesures recommandées pour les centrales et les chaudières industrielles à combustible fossile

	Meilleures solutions environnementales	Meilleures techniques disponibles	Bénéfice pour l'environnement
Combustible	Recherche du combustible Suivi du combustible Spécifications du combustible	Contrôle de l'alimentation en combustible pour respecter les spécifications par substitution, par purification ou par mélange	Minimisation des polluants organiques persistants introduits dans le système de combustion
Conditions de combustion	Conception appropriée pour le combustible choisi, <ul style="list-style-type: none"> • Température (>900°C), • Durée (>1 seconde), • Turbulence élevée, • Excès d'oxygène Faire fonctionner et entretenir pour atteindre les conditions de combustion prévues Développer des conditions et procédures de fonctionnement adaptées à la co-combustion, en particulier pendant le démarrage et l'arrêt du four	Systèmes de contrôle de combustion automatisés, ou sur ordinateur, pour assurer les conditions idéales de combustion Optimiser l'oxydation en maintenant le mélange idéal combustible/oxygène	Destruction des polluants organiques persistants présents dans le combustible, Minimisation de ces polluants pendant la combustion
Captage des gaz	Mise en place et entretien des équipements existants de contrôle de la pollution de l'air	Evaluer la possibilité de réduire l'impact sur l'environnement en installant un dispositif de contrôle de la pollution de l'air Installer ce dispositif de contrôle si cet impact sur l'environnement est démontré	Minimiser la teneur en polluants organiques persistant dans les gaz
Elimination de déchets	Recueillir les déchets solides et liquides provenant du procédé de combustion, ainsi que du dispositif de contrôle de la pollution de l'air Manipuler et stocker de manière appropriée pour minimiser les rejets vers l'environnement	Evaluer le potentiel d'une réduction et du recyclage des déchets Elimination sans risque	Minimiser et contrôler les rejets vers l'environnement

7. Niveaux de performances associés aux meilleures techniques disponibles

Les données disponibles suggèrent que pour une chaudière efficace ne brûlant que du charbon, de l'huile, ou du gaz, le niveau de performance atteignable en termes d'émissions volumétriques de PCDD/PCDF pour les centrales électriques et les chaudières industrielles utilisant des combustibles fossiles sera bien inférieur à 0,1 ng I-TEQ/Nm³. (Contenu d'oxygène: 6% pour les combustibles solides et 3% pour les combustibles liquides).

■ Annexe I. Facteurs d'émission^a pour les PCDD/PCDF provenant de la combustion contrôlée de charbons bitumineux et sous-bitumineux (ng/kg^b)

Congénère	Absorbeur à pulvérisation pour la désulfuration de gaz de combustion et filtres à tissu ^c	Electrofiltre ou filtre en tissu ^d
2,3,7,8-TCDD	n.d.	0,0072
TCDD total	0,197	0,046
PeCDD total	0,353	0,022
HxCDD total	1,50	0,014
HpCDD total	5,00	0,042
OCDD total	14,4	0,208
PCDD^e total	21,4	0,333
2,3,7,8-TCDF	n.d.	0,026
TCDF total	1,25	0,202
PeCDF total	2,42	0,177
HxCDF total	6,35	0,096
HpCDF total	22,0	0,038
OCDF total	68,5	0,033
PCDF^e total	101	0,545
PCDD/PCDF TOTAL	122	0,880

n.d. Non déterminé

a. Données EPA (1998) converties à partir de lb/tonne de charbon brûlé, en ng/kg.

b. Les facteurs d'émission devraient être appliqués au charbon tel qu'il est brûlé. Les émissions sont exprimées en ng de polluant par kg de charbon brûlé.

c. Les facteurs s'appliquent aux chaudières équipées d'absorbeurs à pulvérisation, ou de filtres en tissu, pour désulfurer les gaz de combustion. SCC = charbon pulvérisé brûlé, chaudières à fond sec, 1-01-002-02/22, 1-02-002-02/22, et 1-03-002-06/22.

d. Les facteurs s'appliquent aux chaudières équipées d'électrofiltre ou filtre en tissu. SCC = charbon pulvérisé brûlé, chaudières à fond sec, 1-01-002-02/22, 1-02-002-02/22, et 1-03-002-06/22 et chaudières à cyclones, 1-01-002-03/23, 1-02-002-03/23 et 1-03-002-03/23.

e. Le total PCDD est la somme de TCDD total à OCDD total. Le total PCDF est la somme de TCDF total jusqu'à OCDF total.

Références

Bailey R.E. 2001. «Global Hexachlorobenzene Emissions.» *Chemosphere* 43:2.

CIBO (Council of Industrial Boiler Owners). 2002. *Submission to USEPA by Council of Industrial Boiler Owners*. www.epa.gov/airmarkets/fednox/mar99/bessette.pdf.

Detzel A., Patyk A., Fehrenbach H., Franke B., Gingrich J., Lell M. and Vogt R. 1998. *Investigation of Emissions and Abatement Measures for Persistent Organic Pollutants in the Federal Republic of Germany*. UBA-Texte 75/98. IFEU, Heidelberg.

Dyke P. 2004. *PCB and PAH Releases from Incineration and Power Generation Processes*. R&D Technical Report P4-052. Environment Agency, Bristol, UK. www.pops.int/documents/implementation/nips/guidance/en/techrep.pdf.

Eduljee G.H. and Cains P. 1996. «Control of PCDD and PCDF Emissions from Waste Combustors.» In: *Chlorinated Organic Micropollutants* (eds. Hester R.E. and Harrison R.M.) Royal Society of Chemistry, Cambridge.

Environment Canada. 2004. *Controlling PCBs: The Options Available*. Canadian Council of Resource and Environment Ministers. www.ec.gc.ca/pcb/ccme_fs4/eng/pcb33_e.htm.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 1998. *External Combustion Sources: Bituminous and Subbituminous Coal Combustion*. Background Report AP-42, 5th Edition, Vol. I.

European Commission. 2003. *Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants*. Draft BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain.

Griffin R.D. 1986. «A New Theory of Dioxin Formation in Municipal Solid Waste Combustion.» *Chemosphere* 15:1987–1990.

Lemieux P.M. 1998. *Polychlorinated Dioxins and Furans: Sources, Emissions, Formation and Control*. Presented at UNEP Regional Awareness Raising Workshop on POPs, Puerto Iguazu, Argentina, 1–3 April 1998.

Luthe C., Karidjo I. and Uloth V. 1997. «Towards Controlling Dioxins Emissions from Power Boilers Fuelled with Salt-Laden Wood Waste.» *Chemosphere* 35:3.

McKay G. 2002. «Dioxin Characterization, Formation and Minimization during Municipal Solid Waste (MSW) Incineration: Review.» *Chemical Engineering Journal* 86:343–368.

Meij R. and te Winkel H. 2001. *Health Aspects of Coal Fly Ash*. Paper No. 21, 2001 International Ash Utilization Symposium, Kentucky, USA.

Oland C.B. 2002. *Guide to Low-Emission Boiler and Combustion Equipment Selection*. Report No. ORNL/TM-2002/19. United States Department of Energy, Office of Industrial Technologies. www.oit.doe.gov/cfm/fullarticle.cfm/id=653.

Rentz O., Gütling K. and Karl U. 2002. *Exemplary Investigation into the State of Practical Realization of Integrated Environmental Protection with Regard to Large Combustion Plants in*

Germany. Project 200 46 317. German Federal Environment Agency. www.umweltdaten.de/nfp-bat-e/feuerungsanlagen-e.pdf.

Richards J. 2004. *Basic Concepts in Environmental Sciences*. www.epin.ncsu.edu/apti/ol_2000/module6/dioxins/control/contfram1.htm.

Sloss L.L. 2001. *Organic Compounds from Coal Utilisation*. International Energy Agency Coal Research, London. www.enel.it/ambiente/directory/iea_VOC_pf01-08.pdf.

Sloss L.L. and Smith I.M. 1993. *Organic Compounds from Coal Utilization*. International Energy Agency Coal Resources Report IEACR/63. London.

Tsai M.-Y., Wu K.-T., Huang C.-C. and Lee H.-T. 2002. «Co-firing of Paper Mill Sludge and Coal in an Industrial Circulating Fluidized Bed Boiler.» *Waste Management* 22:4.

UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). 1998. *Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution on Persistent Organic Pollutants*. New York and Geneva. www.unece.org/env/lrtap/full%20text/1998.POPs.e.pdf.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2003. *Guidelines on BAT and BEP for Municipal Waste Incineration*. Draft. UNEP, Geneva. www.pops.int/documents/meetings/bat_bep/2nd_session/inf10/EGB2_INF10_munwaste_incineration.pdf.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2005. *Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases Edition 2.1*. UNEP, Geneva. www.chem.unep.ch/pops/pcdd_activities/toolkit/Toolkit%20-%20version/Toolkit-2005_2-1_en.pdf.

Van Remmen T. 1998. «Evaluation of the Available Air Pollution Control Technologies for the Achievement of the MACT Requirements in the Newly Implemented New Source Performance Standards (NSPS) and Emission Guidelines (EG) for Hospital and Medical/Infectious Waste Incinerators.» *Waste Management* 18:393–402.

Williams P.T. 1994. «Pollutants from Incineration: An Overview.» In: *Waste Incineration and the Environment* (eds. Hester R.E. and Harrison R.M.) Royal Society of Chemistry, Cambridge.

Autres sources

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 2004. www.atsdr.cdc.gov/.

BREDL (Blue Ridge Environmental Defence League). 2000. *Clean Air Campaign*. www.bredl.org/air/riverbend-danriver.htm.

Buekens A. and Huang H. 1998. «Comparative Evaluation of Techniques for Controlling the Formation and Emission of Chlorinated Dioxins/Furans in Municipal Waste Incineration.» *Journal of Hazardous Materials* 62:1–33.

Eduljee G.H. 1994. «Organic Micropollutant Emissions from Waste.» In: *Waste Incineration and the Environment* (eds. Hester R.E. and Harrison R.M.) Royal Society of Chemistry, Cambridge.

Egyptian Environmental Affairs Agency. 2004. *National Implementation Plan Project of POPs Convention*. www.eaaa.gov.eg/English/NIPP/NIPP_conv.asp.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 1997. *Locating and Estimating Air Emissions from Sources of Dioxins and Furans*. EPA-454/R-97-003. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, Office of Air and Radiation, Washington, D.C.

- EPA (United States Environmental Protection Agency). 1998. *The Inventory of Sources of Dioxin in the United States*. EPA, Washington, D.C. www.epa.gov/ttnchie1/le/dioxin.pdf.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 2000. *Exposure and Health Assessment for 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) and Related Compounds*. Draft. EPA, Washington, D.C. www.epa.gov/ncea/pdfs/dioxin/part2/fm-chap9.pdf.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 2003. *PCDD and PCDF: Sources and Regulations Addendum*. EPA, Washington, D.C. epa.gov/bns/dioxin/PCDD_DF_regs.PDF.
- EPRI (Electric Power Research Institute). 1994. *Electric Utility Trace Substances Synthesis Report*. TR-104614. EPRI, Palo Alto, California.
- Hagenmaier H., Kraft M., Haag R. and Brunner H. 1988. In: *Energy Recovery through Waste Combustion* (eds. Brown A., Evemy P. and Ferrero G.L.) Elsevier Applied Science.
- Harrad S. 1996. «Sources and Fates of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins, Dibenzofurans and Biphenyls: The Budget and Source Inventory Approach.» In: *Chlorinated Organic Micropollutants* (eds. Hester R.E. and Harrison R.M.) Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- IPEN (International POPs Elimination Network). 2003. *Information Relevant to the Basel Convention's Hazardous Characteristic H11*. www.ciel.org/Publications/POPs_Basel_Sep03.pdf.
- Kreis S., Hunsinger H. and Seifert H. 2000. «Polypropylene as Regenerable Absorber for PCDD/F Emission Control.» *Chemosphere* 40:1029–1031.
- Lohmann R. and Jones K.C. 1998. «Dioxins and Furans in Air and Deposition: A Review of Levels, Behaviour and Processes.» *The Science of the Total Environment* 219:53–81.
- Magasiner N. 1996. «Bagasse-Fired Boiler Design with Reference to Co-generation.» *International Sugar Journal* 98:100.
- Magasiner N., van Alphen C., Inkson M.B. et al. 2002. «Characterising Fuels for Biomass: Coal-Fired Cogeneration.» *International Sugar Journal* 104:251.
- Manno J., Riedel D. and Trembley N. 1995. *Effects of Great Lakes Basin Environmental Contaminants on Human Health*. SOLEC Working Paper presented at State of the Great Lakes Ecosystem Conference. EPA, Washington, D.C. www.epa.gov/grtlakes/solec/94/health.
- New Zealand Ministry for the Environment. 2000. *New Zealand Inventory of Dioxin Emissions to Air, Land and Water, and Reservoir Sources*. www.mfe.govt.nz/publications/hazardous/dioxin-emissions-inventory-mar00.pdf.
- Oberg T. and Bergstrom J. 1985. «Hexachlorobenzene as an Indicator of Dioxin Production from Combustion.» *Chemosphere* 14:1081–1086.
- Olsen A. 2001. *Co-burning Biomass Opportunities in Wisconsin: A Strategic Assessment*. Final Report. Contract No. 80081, Division of Energy. www.doa.state.wi.us/docs_view2.asp?docid=56.
- Rigo H.G., Chandler A.J. and Lanier W.S. 1995. *The Relationship between Chlorine in Waste Streams and Dioxin Emissions from Waste Combustor Stacks*. American Society of Mechanical Engineers. www.heartland.org/pdf/23143b.pdf.
- Ruuskanen J., Vartiainen T. et al. 1994. «Formation of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans in Co-combustion of Mixed Plastics with Coal: Exploratory Principal Component Analysis.» *Chemosphere* 28:11.
- Tillman D.A. 2000. «Biomass Co-firing: The Technology, the Experience, the Combustion Consequences.» *Biomass and Bioenergy* 19:6.

Van den Berg M., Birnbaum L., Bosveld B.T.C., Brunstrom B., Cook P., Feeley M., Giesy J.P., Hanberg A., Hasegawa R., Kennedy S.W., Kubiak T., Larsen J.C., van Leeuwen F.X.R., Liem A.K.D., Nolt C., Peterson R.E., Poellinger L., Safe S., Schrenk D., Tillitt D., Tysklind M., Younes M., Waern F. and Zacharewski T. 1998. «Toxic Equivalency Factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for Humans and Wildlife.» *Environmental Health Perspectives* 106:775–792.

WHO (World Health Organization). 1998. *Assessment of the Health Risks of Dioxins: Re-evaluation of the Tolerable Daily Intake (TDI)*. Executive Summary of the WHO Consultation, 25–29 May 1998. WHO, Geneva.

Yan J.Y., Alvfors P., Eidensten L. and Svedberg G. 1997. «A Future for Biomass.» *Mechanical Engineering* 119:10.

Zevenhoven R. and Kilpinen P. 2001. *Control of Pollutants in Flue Gases and Fuel Gases*. www.hut.fi/~rzevenho/gasbook.

- ¹ En première approximation, on peut utiliser un facteur de conversion de 0.8-0.9 (MWh par tonne de vapeur)
- ² 1 ng (nano gramme) = 1×10^{-12} kilogramme = 1×10^{-9} gramme; Nm³ = mètre cube normal, volume de gaz sec mesuré à 0°C et 101,3 kPa. Concernant les mesures de toxicité, voir la section I.C paragraphe 3 de ce guide



<http://www.pops.int>

UNEP/SSC/BATBEP/2008/9

Section V.I.M
Section V.I.L
Section V.I.K
Section V.I.J
Section V.I.I
Section V.I.H
Section V.I.G
Section V.I.F
Section V.I.E
Section V.I.D
Section V.I.C
Section V.I.B
Section V.I.A
Section V.D
Section V.C
Section V.B
Section V.A
Sections I-IV

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

**Les installations de brûlage de bois et
de combustibles issus de la biomasse**



Le contenu de cette publication peut être reproduit à des fins éducatives ou sans but lucratif, dans son intégralité ou en partie, quelque soit le format, sans autre permission spéciale, pourvu que la source soit parfaitement identifiée. Le Secrétariat de la Convention de Stockholm et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) souhaiteraient recevoir une copie de tout ouvrage utilisant cette publication comme référence. Cette publication ne peut faire l'objet de revente ou toute autre activité commerciale sans l'accord préalable et par écrit du PNUE.

Publiée par le Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en octobre 2008. Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser au:

Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Genève, Suisse
ssc@pops.int - www.pops.int

Mise en page et impression par: SRO-Kundig - Genève

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

T A B L E D E S M A T I È R E S

SECTION I: INTRODUCTION

- I.A** OBJECTIF
- I.B** STRUCTURE DU DOCUMENT ET UTILISATION DES DIRECTIVES ET CONSEILS
- I.C** PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C: DÉFINITIONS, RISQUES, TOXICITÉ
- I.D** ARTICLE 5 ET L'ANNEXE C DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- I.E** LIEN AVEC LA CONVENTION DE BÂLE
- I.F** LIEN AVEC D'AUTRES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

SECTION II: CONSIDÉRATIONS D'ALTERNATIVES DANS L'APPLICATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

- II.A** CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES DANS LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- II.B** LA CONVENTION DE STOCKHOLM ET LES SOURCES NOUVELLES
- II.C** UNE APPROCHE À LA CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES
- II.D** AUTRES CONSIDÉRATIONS DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM

SECTION III: MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES: DIRECTIVES, PRINCIPES ET CONSIDÉRATIONS CROISÉES

- III.A** DIRECTIVES
- III.B** PRINCIPES ET APPROCHES GÉNÉRAUX
- III.C** CONSIDÉRATIONS CROISÉES:
 - (i) PRODUITS CHIMIQUES DE L'ANNEXE C: MÉCANISMES DE FORMATION
 - (ii) CONSIDÉRATIONS SUR LA GESTION DES DÉCHETS
 - (iii) EFFETS BÉNÉFIQUES ADDITIONNELS DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LES PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C
 - (iv) GESTION DES GAZ DE PROCÉDÉ ET D'AUTRES RÉSIDUS
 - (v) FORMATION DES DÉCIDEURS ET DU PERSONNEL TECHNIQUE
 - (vi) MESURES, SUIVI ET PRÉSENTATIONS DES RAPPORTS

SECTION IV: COMPILATION DES RÉSUMÉS DES CATÉGORIES DES SOURCES INCLUSES DANS LES SECTIONS V ET VI

RESUMES DE LA SECTION V: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

RESUMES DE LA SECTION VI: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

SECTION V: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DE SOURCES: CATEGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

- V.A** LES INCINÉRATEURS DE DÉCHETS
- (i) DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, DÉCHETS DANGEREUX ET DE BOUES D'ÉPURATION
 - (ii) DECHET MEDICAUX
- V.B** LE BRULAGE DE DÉCHETS DANGEREUX DANS LES FOURS A CIMENT
- V.C** LA PRODUCTION DE PÂTE À PAPIER UTILISANT LE CHLORE ÉLÉMENTAIRE, OU DES SUBSTANCES CHIMIQUES GÉNÉRANT DU CHLORE ÉLÉMENTAIRE
- V.D** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
- (i) PRODUCTION DU CUIVRE SECONDAIRE
 - (ii) USINES DE FRITTAGE DANS L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER
 - (iii) PRODUCTION D'ALUMINIUM SECONDAIRE
 - (iv) PRODUCTION DU ZINC SECONDAIRE

SECTION VI: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DES SOURCES: CATÉGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

- VI.A** LA COMBUSTION À CIEL OUVERT DE DÉCHETS, Y COMPRIS DANS LES DÉCHARGES
- VI.B** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE AUTRES QUE CEUX MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE C PARTIE II
- (i) PRODUCTION DU PLOMB SECONDAIRE
 - (ii) PRODUCTION D'ALUMINIUM PRIMAIRE
 - (iii) PRODUCTION DE MAGNESIUM
 - (iv) PRODUCTION D'ACIER SECONDAIRE
 - (v) PREMIERE FUSION DES METAUX DE BASE

VI.C	LES SOURCES DE COMBUSTION RÉSIDENTIELLES
VI.D	LA COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES DANS LES CHAUDIÈRES DE CENTRALES ET LES CHAUDIÈRES INDUSTRIELLES
VI.E	LES INSTALLATIONS DE BRÛLAGE DE BOIS ET DE COMBUSTIBLES ISSUS DE LA BIOMASSE
VI.F	LES PROCÉDÉS SPÉCIFIQUES DE PRODUCTION DE SUBSTANCES CHIMIQUES ENTRAÎNANT DES REJETS DE SUBSTANCES INSCRITES À L'ANNEXE C
VI.G	LES FOURS CRÉMATOIRES
VI.H	LES VÉHICULES À MOTEUR, NOTAMMENT CEUX UTILISANT DE L'ESSENCE AU PLOMB
VI.I	LA DESTRUCTION DE CARCASSES D'ANIMAUX
VI.J	LA TEINTURE DE TEXTILES OU DU CUIR (AU CHLORANILE) ET LA FINITION (EXTRACTION ALCALINE)
VI.K	LES INSTALLATIONS DE BROYAGE DES ÉPAVES DE VÉHICULES
VI.L	LE CHAUFFAGE LENT DE CÂBLES EN CUIVRE
VI.M	LES RAFFINERIES D'HUILES USÉES

Section VI.E

Directives/conseils par catégorie des sources:
Catégories des sources dans la Partie III de l'Annexe C

Partie III: Catégorie de source (e): Les installations de brûlage de bois et de combustibles issus de la biomasse

T A B L E D E S M A T I È R E S

VI.E Les installations de brûlage de bois et de combustibles issus de la biomasse	9
1. Introduction	9
2. Technologies de combustion de la biomasse	10
2.1 Sélection de technologies et types de fours.....	10
2.2 Fours à grille	12
2.3 Combustion à lit fluidisé	13
2.4 D'autres technologies de combustion de bois	14
2.5 Techniques de conversion énergétiques	14
2.6 La co-combustion de bois (non traité) et de biomasse apparentée au bois.....	15
2.7 La gazéification du bois.....	15
2.8 La combustion d'autres biomasse.....	16
2.9 Chaudières de récupération dans l'industrie de la pâte et du papier ...	16
2.10 La combustion de la tourbe	17
3. Mesures de contrôle des émissions.....	17
3.1 Mesures primaires et secondaires applicables	17
3.2 Caractéristiques du combustible.....	18
4. Production des procédés	19
4.1 Formation de PCDD et de PCDF dans les procédés de combustion.....	19
4.2 Emissions de PCDD/PCDF	20
5. Meilleures techniques disponibles et meilleures pratiques environnementales	22
5.1 Mesures primaires, et optimisation du procédé pour réduire les émissions de PCDD/PCDF	22
5.2 Mesures secondaires	23
6. Niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles	23
7. Suivi des performances et communication des résultats.....	24
Références	24

Tableaux

Tableau 1. Types de combustibles utilisés, issus de la biomasse	10
Tableau 2. Types de fours à biomasse avec applications et combustibles typiques	11

Tableau 3. Mesures des contrôles d'émissions de PCDD/PCDF pour installations de brûlage de la biomasse.....	18
Tableau 4. Concentrations de PCDD/PCDF pour différents types de combustible bois	20
Tableau 5. Emissions de PCDD/PCDF venant de différents types de biomasse.....	21
Tableau 6. Emissions de PCDD/PCDF venant de chaudières de récupération de liqueurs noires Kraft	21

Figures

Figure 1. Schéma général d'un four à grille vibrant.....	13
Figure 2. Schéma général d'un four utilisant la combustion en lit fluidisé à circulation	14

■ Résumé

Le but principal des installations de brûlage de bois et de combustibles issus de la biomasse est la conversion d'énergie. Les grandes installations de brûlage de bois et de combustibles issus de la biomasse utilisent généralement la combustion en lit fluidisé et les fours à grille. Les installations plus petites comprennent des fours alimentés par le bas et des fours à suspension cyclonique. Les chaudières à récupération dans l'industrie de la pâte et papier appliquent des conditions spécifiques pour la combustion. La sélection de la technologie se fait sur la base des caractéristiques du combustible et de la capacité thermique requise.

Les substances inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm peuvent être produites pendant la combustion de bois et de combustibles issus de la biomasse, en particulier lorsque ces matières sont contaminées. Pour les unités brûlant de la biomasse, en particulier les installations au bois, les niveaux d'émission associés aux meilleures techniques disponibles sont normalement en dessous de 0,1 ng I-TEQ/Nm³. Parmi les mesures primaires, le contrôle de la qualité du combustible est primordial (y compris l'exclusion de tout bois traité). Les mesures de contrôle pour la biomasse non contaminée comprennent l'optimisation des techniques de combustion et l'élimination des poussières. La combustion de la paille provoque des salissures plus importantes des surfaces et nécessite des techniques de combustion qui ne soient pas sensibles à la scorification des cendres.

On devrait éviter de brûler de la biomasse contaminée, comme des déchets de bois, dans ces installations. Les cendres volantes (en particulier les fractions les plus fines) provenant du brûlage de la biomasse doivent être mises en décharge à cause de leur teneur élevée en métaux. Dans beaucoup de pays (y compris dans l'Union Européenne), on estime que le bois traité avec des composés chlorés ou des métaux lourds est un déchet, et doit être traité en respectant les directives ou réglementations sur l'incinération des déchets.

D'autres avantages bénéfiques résultant de l'application des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales comprennent la conservation de ressources et la réduction des émissions de dioxyde de carbone provenant de combustibles fossiles (dans le cas de substitution).

1. Introduction

A présent, environ 12% des besoins énergétiques du monde sont générés par le brûlage de combustibles à base de biomasse, qui vont du bois et des déchets de bois à des produits agricoles et des liqueurs noires des usines de pâte à papier. On utilise une grande gamme de dispositifs pour convertir cette biomasse en énergie utile. Dans les pays en développement, environ 35% de l'énergie utilisée provient de la biomasse, mais la grande majorité est destinée à des applications non commerciales dans des

équipements traditionnels comme ceux pour faire la cuisine (voir section VI.C des présentes directives). Dans un pays comme le Népal, plus de 90% de l'énergie primaire est produit à partir de combustibles traditionnels à base de biomasse, surtout le bois venant des forêts.

Dans cette section, on considère les meilleures techniques disponibles pour des applications à grande échelle, comme par exemple, l'industrie, la génération d'électricité, et le chauffage local qui utilisent des combustibles à base de biomasse comme source d'énergie.

■ **Tableau 1. Types de combustibles utilisés, issus de la biomasse**

Bois: sciure, écorce, copeaux, rabotures
Bois et bûches
Paille
Boulettes d'origine agrumes
Cosses de noix de coco
Brou de noix (par ex., amandes, arachides)
Coques de grains de café
Vannures de riz
Tourbe
Bagasse de canne à sucre
Crottes d'animaux
Liqueurs noires d'usine à pâte

Dans les pays industrialisés, la contribution totale de la biomasse aux énergies primaires n'est que de 3%. Ceci concerne surtout l'utilisation de combustibles commerciaux à base de biomasse dans des installations modernes (par exemple, les centrales de cogénération utilisant des copeaux de bois pour la chaleur et l'électricité). Parmi les autres applications on trouve le chauffage domestique, la fourniture de chaleur industrielle, et les grandes centrales brûlant du charbon (IEA Bioenergy 2004).

2. Technologies de combustion de la biomasse

2.1 Sélection de technologies et types de fours

Pour faire une sélection de technologies, la quantité de chaleur à l'entrée et la quantité de bois nécessaire sont primordiales. Pour les grandes installations, la combustion en lit fluidisé et dans des fours à grille est la plus appropriée. Pour des unités plus petites on utilisera des fours à alimentation par le bas et des fours à suspension cyclonique. Le tableau 2 montre les capacités thermiques typiques qui sont nécessaires pour différents types de techniques de brûlage du bois.

■ **Tableau 2. Types de fours à biomasse avec des applications et combustibles typiques**

Application	Type	Gamme de dimension typique^a	Combustibles	Cendres	Teneur en eau
Manuel	Chaudières à bûches	5 kW–50 kW	Bûches, résidus collants de bois	<2%	5–30%
Automatique	Four mécanique à alimentation par le bas	20 kW–2.5 MW	Copeaux et résidus de bois	<2%	5–50%
	Four à foyer oscillant	150 kW–15 MW	Tous les combustibles bois, et presque toute la biomasse	<50%	5–60%
	Four préliminaire avec foyer	20 kW–1.5 MW	Bois sec (résidus)	<5%	5–35%
	Four mécanique à foyer tournant	2 MW–5 MW	Copeaux de bois à haute teneur en humidité	<50%	40–65%
	Brûleur à cigare	3 MW–5 MW	Balles de paille	<5%	20%
	Fours à balles entières	3 MW–5 MW	Balles entières	<5%	20%
	Four à paille	100 kW–5 MW	Balles de paille avec coupeur de balles	<5%	20%
	Lit fluidisé stationnaire	5 MW–15 MW	Biomasse diverse diam. <10 mm	<50%	5–60%
	Lit fluidisé à circulation	15 MW–100 MW	Biomasse diverse diam.<10 mm	<50%	5–60%
	Brûleur de poussière, flux entraîné	5 MW–10 MW	Biomasse diverse diam. <5 mm	<5%	<20%

Application	Type	Gamme de dimension typique ^a	Combustibles	Cendres	Teneur en eau
Co-combustion ^b	Lit fluidisé stationnaire	Total 50 MW–150 MW	Biomasse diverse diam. <10 mm	<50%	5–60%
	Lit fluidisé à circulation	Total 100 MW–300 MW	Biomasse diverse diam. <10 mm	<50%	5–60%
	Brûleur à cigares	Paille 5 MW–20 MW	Balles de paille	<5%	20%
	Brûleur de poussière dans une chaudière à charbon	Total 100 MW–1 GW	Biomasse diverse diam. <2–5 mm	<5%	<20%

a. kW = kilowatt; MW = mégawatt; GW = gigawatt.

b. La biomasse couvre normalement moins de 10% de l'apport total de combustible.

Source: Nussbaumer 2003.

La biomasse typique à base de bois présente une teneur en cendre de moins de 5%; des teneurs en cendre plus élevées se trouvent dans la biomasse telle que les boues de stations d'épuration. Une question importante concerne l'élimination des cendres car celles-ci peuvent contenir des polluants organiques persistants non intentionnels et d'autres produits toxiques, suivant les matières brûlées (pour de plus amples informations, se référer à la section III.C, iv, sous-section 2.1 de ces directives).

2.2 Fours à grille

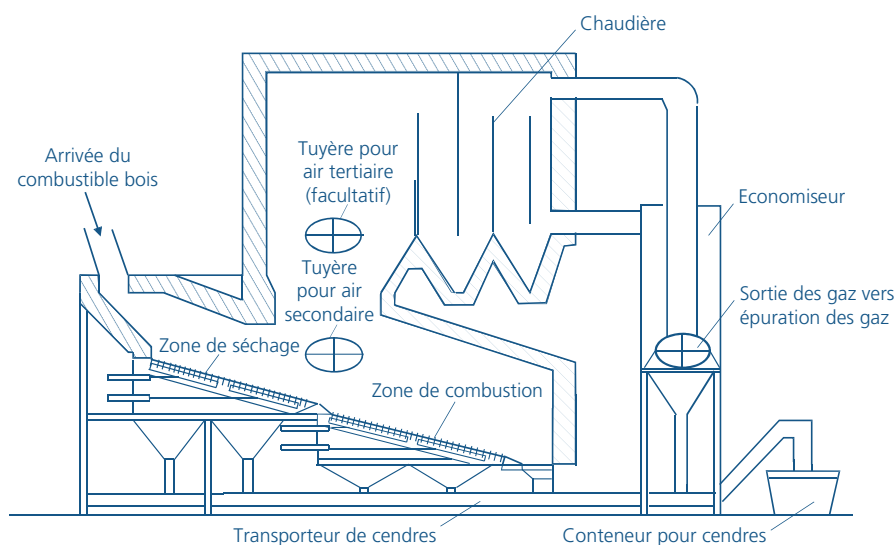
Les fours à grille représentent aujourd'hui la technologie la plus utilisée pour la combustion de déchets et de résidus de bois. En fonction de la technique, le combustible bois passe à travers la chambre de combustion grâce à des grilles en pente, des grilles en mouvement, des grilles vibrantes

(Figure 1) ou des grilles mobiles. Des systèmes de combustion sur grilles conviennent pour tous les types de résidus et de déchets de bois ayant des particules entre 20 et 300 mm de diamètre.

Cependant, des particules fines, comme le bois pulvérisé, peuvent être injectées à travers des lances de combustion supplémentaires. Un facteur très important pour l'efficacité de la combustion, pour les grilles mobiles et vibrantes, est le contrôle du combustible et de l'air. En ce qui concerne la génération de vapeur, la conception du système de combustion du four permet de choisir différentes options pour la réduction d'émissions primaires, y compris d'effectuer la combustion par étapes et de recycler les gaz de combustion. L'investissement pour les systèmes de grilles de combustion dépend beaucoup de la technologie de la grille et du système de lavage des gaz de combustion. Par rapport aux unités de combustion en lit fluidisé, en particulier pour les capacités les

plus faibles, l'investissement spécifique relatif à l'apport total de chaleur est considérablement réduit (CSTB 2000).

■ Figure 1. Schéma général d'un four à grille vibrante



2.3 Combustion à lit fluidisé

La combustion à lit fluidisé est utilisée pour divers types de combustibles solides. Dans une unité typique de combustion à lit fluidisé, on maintient le combustible à l'état fluidisé en injectant de l'air en même temps qu'un matériau inerte formé principalement de calcaire ou de sable, avec les cendres du combustible. Pour la combustion du bois on utilise surtout deux technologies de combustion en lit fluidisé. Celles-ci sont la combustion en lit fluidisé à insufflation d'air, et le lit fluidisé avec circulation d'air (Figure 2). La combustion en lit fluidisée est convenable même pour les combustibles de plus faible qualité, et pour une grande variété de combustibles. Pour la combustion du bois, on peut utiliser presque tout type de résidu et de déchet de bois. On peut admettre des humidités allant jusqu'à 60%. Les systèmes à lit fluidisé sont adaptables même pour des faibles charges. Il est possible d'utiliser des cycles avec des charges faibles ou élevées, sans le besoin de combustible d'appoint et à une vitesse supérieure par rapport à d'autres technologies de combustion.

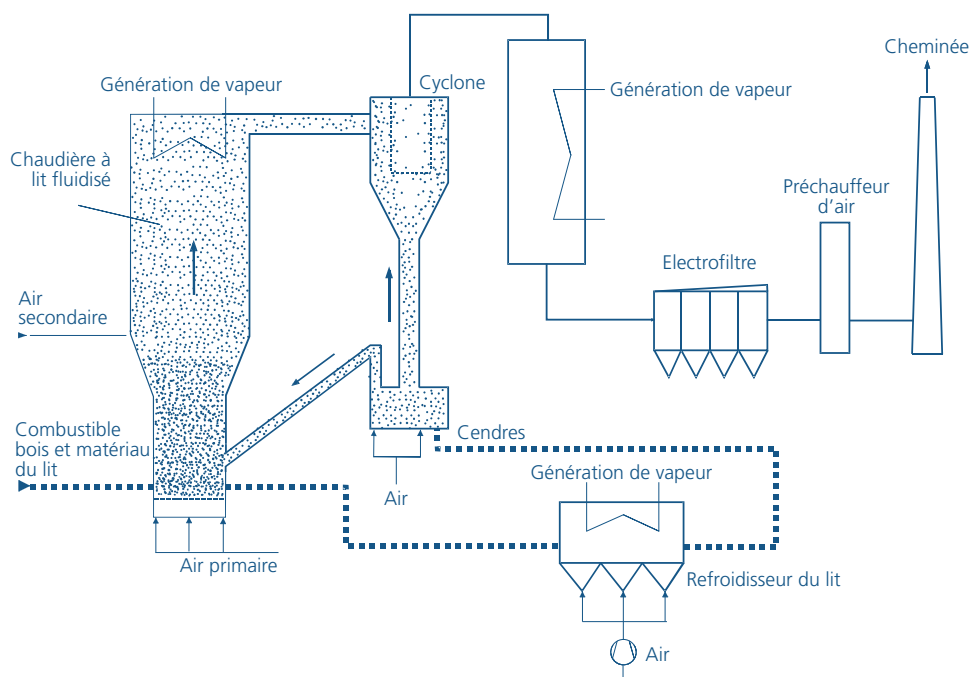
Une corrosion due au chlore à haute température peut être supprimée en plaçant la dernière unité de surchauffe dans le lit. Par rapport à d'autres technologies de combustion, le fait d'utiliser une température de combustion plus faible dans les systèmes à lit fluidisé présente plusieurs avantages opérationnels pour le contrôle des émissions. L'investissement nécessaire pour des unités de combustion à lit fluidisé est influencé principalement par la technologie utilisée et par le type de système adopté pour le lavage des gaz de combustion. La combustion à lit fluidisé à circulation nécessite un investissement particulier, nettement supérieur à celui nécessaire pour la combustion à lit fluidisé à insufflation d'air pour des unités de moins de 30 MW th (CSTB 2000).

2.4 D'autres technologies de combustion du bois

D'autres technologies de combustion pour le bois comprennent les fours mécaniques à alimentation par le bas, les fours à suspension cyclonique (four à moufle en suspension), les fours rotatifs, les fours à sole turbulent, les fours à ventilation, et les brûleurs de poussières. Les fours à alimentation par le bas et les fours à foyer mécanique à alimentation par le bas, sont particulièrement adaptés à la combustion de copeaux de bois qui sont secs et pas trop gros avec une faible teneur en cendres.

Cette technique est utilisée pour des chaleurs d'entrée totaux allant jusqu'à 5 MW th. Par rapport à des fours à foyer normaux, l'investissement spécifique est généralement plus faible. Puisque les fours à suspension cyclonique nécessitent une teneur en poussière d'au moins 50% leur application est limitée principalement à l'industrie du traitement du bois. Des brûleurs à poussière sont utilisés pour des poussières de bois ayant des dimensions de particules jusqu'à 1 mm. Parmi les applications de ce type de brûleur on peut citer les sécheurs de copeaux de bois et l'injection de poussières de bois dans les fours à ciment (CSTB 2000).

■ Figure 2. Schéma général d'un four utilisant la combustion en lit fluidisé à circulation



2.5 Techniques de conversion énergétique

Pour la conversion d'énergie en aval des fours de combustion du bois, on doit faire une distinction entre les systèmes d'échange de chaleur (chaudières) et les systèmes d'autres systèmes pour la production combiné de chaleur et d'électricité (par exemple, turbines à gaz, moteurs à vapeur). Le type de chaudière dépendra du milieu utilisé pour le refroidissement, la dimension de l'unité et la qualité d'énergie recherchée. Les chaudières à tube de fumée sont utilisées pour la production d'eau chaude ou de vapeur, en aval des fours à bois de petite ou moyenne taille. Le transfert de chaleur ne se fait que par convection. Les chaudières à tube d'eau sont utilisées pour les unités de

combustion de déchets de bois de grande ou moyenne taille. L'eau à évaporer circule dans des tubes entourés des gaz de combustion chauds. Le transfert de chaleur a lieu surtout par radiation. Par comparaison aux chaudières à tube de cheminée, on peut utiliser des pressions opératoires considérablement plus élevées – jusqu'à 100 bars. En aval des fours à bois, on ne produit généralement que la chaleur, ou la chaleur plus l'électricité ensemble. Pour cette raison, la génération d'électricité à condensation peut être négligée. Cependant les unités de chaleur et à électricité combinées pourraient aussi nécessiter des capacités de condensation dans le cas où la chaleur générée n'est pas utilisée (CSTB 2000).

2.6 La co-combustion de bois (non traité) et de biomasse apparentée au bois

Par co-combustion on entend le brûlage de déchets et de résidus de bois ensemble avec d'autres matériaux, ou bien avec des combustibles fossiles. Le but est de créer des effets de synergie entre deux procédés de combustion. On obtient des avantages au niveau des coûts opératoires en utilisant des combustibles secondaires qui sont moins coûteux, et aussi au niveau de l'efficacité de combustion qui est plus élevée par rapport aux deux procédés exploités séparément. Il est possible, pour les déchets et résidus de bois, de faire une co-combustion dans les fours à ciment ou les centrales au charbon, et une co-gazéification dans les incinérateurs de déchets (CSTB 2000). Pour de plus amples informations, voir les sections V.A, V.B, et VI.D des présentes directives.

2.7 La gazéification du bois

La gazéification de bois, et de déchets de bois, consiste en la conversion à haute température de résidus solides et liquides dérivés de la décomposition thermo-chimique de la matière organique contenue dans le bois, pour donner un combustible gazeux avec addition d'agents oxydants. Le but principal de la gazéification du bois est de convertir autant de l'énergie chimique contenue dans la matière première (le bois) que possible, en une fraction gazeuse (gaz de gazogène) consistant surtout de produits gazeux combustibles à faible masse moléculaire.

Les techniques de gazéification disponibles sont en général liées au type de chaudière. Les techniques de gazéification disponibles sont la gazéification en lit fixe et la gazéification en lit fluidisé. Pour la gazéification du bois on préfère généralement les gazéificateurs à lit fixe dans le cas d'apports totaux de chaleur en dessous de 5 MW. Pour des capacités plus grandes on utilise plutôt les systèmes à lit fluidisé.

Le contenu énergétique du gaz produit par un procédé de gazéification peut être utilisé soit de manière thermique pour alimenter une chaudière ou pour un autre procédé thermique (seul, ou en co-combustion, par exemple dans une chaudière existante produisant de l'électricité, ou dans un four à ciment), soit de manière mécanique pour la génération d'électricité dans des moteurs à gaz ou des turbines à gaz. D'autres possibilités sont l'utilisation du gaz de gazogène pour la synthèse du méthanol ou dans des piles à combustible.

Le système nécessaire pour le nettoyage du gaz ainsi produit sera déterminé par la concentration d'impuretés et par exigences de la technique adoptée pour l'utilisation du

gaz. En fonction de cette technique, le nettoyage du gaz est nécessaire pour éviter l'érosion, la corrosion et des dépôts indésirables, aussi pour assurer que les normes d'émission soient respectées. On peut distinguer deux approches différentes pour le nettoyage des gaz: le nettoyage à froid (ou humide) et le nettoyage à chaud. On considère que le nettoyage à chaud est plus avantageux pour les systèmes avancés à plus haute performance à cause de la possibilité d'atteindre des efficacités électriques et globales plus élevées, et du fait qu'il n'y a pas de génération d'effluents aqueux ni de condensât contaminé. Bien que l'on puisse considérer la gazéification comme une technique bien établie et fiable, pour toutes les unités avec génération d'électricité (turbines à gaz ou moteurs à gaz), le nettoyage des gaz est toujours une contrainte critique. Parmi les problèmes associés au procédé de nettoyage on trouve le contrôle du procédé, le coût d'élimination de résidus de la gazéification, et l'investissement et coûts opératoires élevés de l'unité de nettoyage des gaz elle-même (CSTB 2000).

2.8 La combustion d'autres biomasses

Parmi les autres combustibles à base de biomasse se trouvent des biocombustibles solides tels que la paille et autres produits végétaux, et les combustibles liquides tels que l'huile de canola. La combustion de la paille demande des techniques de combustion qui ne sont pas sensibles à la scorification des cendres. A cause de l'apport plus important des matières minérales et de chlore comparé à la combustion du bois, il se produit plus d'émissions de poussières, d'acide chlorhydrique (HCl), de dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD) et de dibenzofuranes polychlorés (PCDF) (LfU 2002). Quelques résultats type de mesure d'émissions sont donnés dans la sous-section 4 ci-dessous.

2.9 Chaudières de récupération dans l'industrie de la pâte et du papier

Pour la fabrication de pâtes à papier on utilise des méthodes mécaniques, thermomécaniques, mécano-chimiques et chimiques (voir la section V.C des présentes directives). Dans la fabrication de pâte chimique, les fibres sont désintégrées de manière chimique. Les produits chimiques sont utilisés dans un procédé de cuisson pour pénétrer à l'intérieur de la fibre et dissoudre la lignine des parois cellulaires afin d'atteindre les lamelles complexes du centre. La lignine doit être enlevée des lamelles pour libérer les fibres. La lignine et beaucoup d'autres substances organiques sont ainsi mises en solution. Les produits chimiques utilisés dans les procédés au sulfate (Kraft) et sulfite sont récupérés de cette solution par une combustion en chaudière, ce qui permet aussi une récupération énergétique.

Les chaudières de récupération dans le cas du procédé au sulfate (Kraft) fonctionnent initialement dans des conditions réductrices, ce qui mène à la formation de sulfure de sodium. Le résidu fondu est composé de sulfure de sodium et de carbonate de sodium. Dans la deuxième et la troisième étape de combustion, on assure un flux d'air de combustion progressif afin d'obtenir une combustion complète. Ici, il est possible de récupérer les gaz odoriférants.

Les chaudières de récupération dans les procédés de fabrication au sulfite ne fonctionnent pas avec une combustion progressive. La lie est brûlée dans des conditions oxydantes avec très peu d'excès d'air.

2.10 La combustion de la tourbe

Dans l'Union Européenne, la tourbe représente un combustible important (considérée comme un combustible fossile) en Irlande et en Finlande. Les technologies de combustion appliquées à la tourbe sont similaires à celles utilisées pour la combustion du charbon (section VI.D des présentes directives). Aujourd'hui on brûle la tourbe surtout dans des chaudières à lit fluidisé (combustion en lit fluidisé en bouillonnement et à circulation). Ces chaudières ont typiquement des apports en fuel de moins de 200 MW, et elles produisent soit de l'électricité, soit de l'électricité plus de la chaleur pour l'industrie locale et aussi pour des circuits de chauffage local. Les chaudières à tourbe sont conçues aussi pour brûler d'autres combustibles à faible pouvoir calorifique et parfois aussi du charbon. L'huile lourde est couramment utilisée comme combustible auxiliaire pour le démarrage.

Grâce à ses propriétés la tourbe peut aussi être utilisée en co-combustion avec le bois. Du point de vue technique, il serait plus difficile de n'utiliser que le bois dans des unités existantes à cause de problèmes de corrosion et d'encrassement. La possibilité d'utiliser la tourbe permet d'assurer une source de combustible en continu dans des zones où le bois n'est pas disponible en quantité suffisante pour répondre à la demande de combustible (European Commission 2006).

3. Mesures de contrôle des émissions

3.1 Mesures primaires et secondaires applicables

La réduction des émissions de PCDD/PCDF comprend les mesures primaires et secondaires résumées au Tableau 3 (Baumbach and Zuberbühler 2002; CSTB 2000; LfU 2002).

Les mesures primaires applicables ressemblent à celles utilisées dans le secteur de l'incinération des déchets. Dans le cas de la biomasse non traitée, les mesures secondaires se limitent au traitement de la fumée. Des fours plus petits peuvent utiliser des multicyclones pour atteindre des concentrations de poussières dans les gaz de combustion lavés de 100–150 mg/Nm³. Les filtres en tissus ou les électrofiltres permettent d'atteindre des concentrations en poussières dans la gamme de <5 à 25 mg/Nm³ (voir section III.C (iv) des présentes directives pour des conseils généraux sur le lavage des gaz de combustion).

En aval de la combustion de déchets de bois, il est possible d'effectuer un lavage supplémentaire des gaz de combustion à l'aide de procédés d'absorption ou d'adsorption. Généralement on n'utilise que des procédés d'adsorption à cause de leur coût plus faible. L'injection d'agents de sorption secs (réacteur à flux entraîné) devient plus importante en aval de la combustion du bois à cause de sa relative simplicité et de ses coûts faibles. On utilise généralement un mélange de substances calcifères et du charbon actif, ou bien du charbon actif venant du lignite comme agent d'adsorption. Des agents calcifères possibles sont le calcaire (CaCO₃), la chaux (CaO) et la chaux hydratée (Ca(OH)₂). Tandis que les agents calcifères enlèvent le dioxyde de soufre (SO₂), l'acide chlorhydrique (HCl) et l'acide fluorhydrique (HF), les divers types de charbons actifs minimisent les émissions de métaux lourds (mercure, cadmium et arsenic), les

émissions de PCDD/PCDF et les émissions d'hydrocarbures polycycliques aromatiques. Un mélange typique utilisé dans un réacteur à flux entraîné comprend 85–95% d'agents calcifères et 5–15% de charbon actif. Comme mesure de réduction des émissions secondaires d'oxydes d'azote (NO_x), en particulier en aval de grandes installations de combustion de déchets de bois, on peut utiliser une réduction non catalytique mais une réduction par catalyse sélective est peut-être aussi indiquée. La réduction sélective sur catalyseur a été appliquée à des brûleurs de biomasse à lits fluidisés. Un des problèmes rencontrés avec cette technique est que la désactivation du catalyseur est plus rapide quand on brûle de la biomasse, par rapport au charbon, en particulier dans le cas des fours à grille et pour la combustion de la paille.

■ **Tableau 3. Mesures des contrôles d'émissions de PCDD/PCDF pour installations de brûlage de la biomasse**

Options de gestion	Niveaux d'émission (%)	Coûts estimés	Risques liés à la gestion
Mesures primaires			
Contrôle de la qualité du combustible (par ex.: valeur calorifique, humidité, contaminants)	Niveaux des émissions pas quantifiés	Coûts de combustibles plus élevés	Teneur en eau plus élevée augmente la formation de PCDD/PCDF
Combustion optimisée (par ex., réduction d'air en excès)		Pas de coûts additionnels pour de nouvelles installations	
Temps de résidence suffisant des gaz de combustion dans la zone chaude du four			
Mesures secondaires			
Traitement efficace des poussières	Efficacité moyenne		Température du filtre 200°C
Injection de sorbants secs Réduction catalytique sélective	Efficacité élevée	Investissement additionnel: ^a réduction catalytique sélective 110–180 %	Élimination nécessaire des sorbants, pas courant dans des installations brûlant de la biomasse vierge

a. Pourcentage relatif à l'investissement pour le four, la chaudière et le collecteur de poussières dans des unités de combustion du bois avec une capacité thermique de 1 - 10 MW.

3.2 Caractéristiques du combustible

La qualité du combustible joue un rôle majeur dans la formation de PCDD/PCDF pendant la combustion de la biomasse. Les PCDD/PCDF sont toujours formés pendant la combustion du bois à travers des précurseurs tels que les phénols et la lignine, ou par des réactions *de novo* en présence de particules de carbone et de chlore. On peut

s'attendre à des concentrations élevées de PCDD/PCDF en brûlant du bois traité (déchets de bois). Les résidus de bois (déchets et industriel) contiennent souvent divers types de contaminants (arsenate de cuivre chromé, pentachlorophénol, créosote, adhésifs, résines, peintures et autres revêtements de surface). Une autre source majeure de PCDD peut être du bois chargé de sel qui est brûlé dans des chaudières de puissance dans des usines à pâte à papier (Lavric, Konnov and De Ruyck 2004).

La combustion de bois contaminé, tels que des déchets de bois urbain et de bois de démolition, devra être strictement limitée aux installations munies de systèmes d'épuration des gaz comme les incinérateurs de déchets (voir section V.A des ces directives) (Nussbaumer 2003).

La teneur en humidité de la biomasse peut être élevée. On utilisera parfois donc des sécheurs avant l'étape de combustion. On considère que les sécheurs à vapeur ne présentent pas de problèmes de sécurité, avec un impact environnemental faible. Une autre méthode est basée sur le séchage à l'aide de gaz de combustion, qui est ensuite renvoyé à la cheminée. Dans ce cas il existe la possibilité d'émissions de produits organiques, tels que des cires ou substances aromatiques (European Commission 2006).

4. Production des procédés

4.1 Formation de PCDD et de PCD dans les procédés de combustion

La réaction principale menant à la formation de PCDD/PCDF dans les procédés de combustion est la synthèse *de novo*. La Section III.C (i) de ces directives fournit des informations générales sur les mécanismes de formation des PCDD/PCDF. Quelques considérations spécifiques touchant à la combustion de la biomasse sont énumérées ci-dessous.

Les PCDD peuvent être formés en l'absence de composés chlorés organiques. Il suffit qu'il y ait présence de particules de carbone et une source de chlore. Des investigations sur un foyer stationnaire d'un four ont montré que la quantité totale de PCDD/PCDF et de polychlorobiphényles coplanaires (PCB) formée était proportionnelle à la teneur en chlore des échantillons brûlés quand la température de la chambre de combustion était en dessous de 700°C. Par contre, quand la température du foyer était supérieure à 800°C, il n'y avait qu'une formation faible de PCDD/PCDF et de PCB coplanaires, quelque soit la teneur en chlore du combustible (Yasuhara, Katami and Shibamoto 2003).

Les meilleures conditions de combustion dans les installations plus grandes peuvent avoir un impact favorable sur les concentrations des PCDD/PCDF. Des essais ont montré que même quand les matériaux traités contenaient de fortes concentrations d'halogènes, les concentrations se maintenaient en dessous de celles obtenues dans le cas de petites installations utilisant du bois naturel. Lorsqu'on ajoutait des matériaux contenant des halogènes, on a observé une relation très nette entre les concentrations en monoxyde de carbone (CO) et en PCDD/PCDF. L'influence dominante de la qualité de la combustion sur les émissions de PCDD/PCDF se voyait à travers l'augmentation des teneurs en CO, et la décroissance simultanée de la température des gaz de combustion (Lavric, Konnov and De Ruyck 2004).

4.2 Emissions de PCDD/PCDF

4.2.1 La combustion de bois ou de déchets de bois

L'influence de la qualité du combustible et des conditions de combustion sur les émissions des PCDD/PCDF est illustrée dans le Tableau 4.

■ **Tableau 4. Concentrations de PCDD/PCDF pour différents types de combustible bois**

Type de bois	PCDD/PCDF min. ng I-TEQ/m ³ (à 11% O ₂) ^a	PCDD/PCDF max. ng I-TEQ/m ³ (à 11% O ₂)
Morceaux de bois (naturel)	0,02	0,13
Copeaux de bois (naturel)	0,004	0,88
Déchets de bois	0,03	18,00
Panneaux agglomérés sans chlore ni métaux lourds	0,03	0,10
Panneaux agglomérés avec PVC ou chlorure d'ammonium (NH ₄ Cl)	0,05	12,28
Panneaux d'agglomérés avec pentachlorophénol	0,21	5,14

a. 1 ng (nanogram) = 1×10^{-12} kilogram (1×10^{-9} gram). Pour des informations sur les mesures de toxicité voir la section I.C, paragraphe 3 des présentes directives.

Source: Nussbaumer 2004.

Une revue complète des résultats des tests sur les PCDD/PCDF produits par des installations brûlant du bois se trouve dans Lavric, Konnov and De Ruyck 2004.

4.2.2 La combustion d'autres biomasses

Launhardt et Thoma ont testé divers biocombustibles à base de plantes herbacées (paille, plants de céréales entiers et foin de rebut) ainsi que du bois d'épicéa, en vue d'examiner leur potentiel pour former des PCDD/PCDF, des phénols polychlorés, des benzènes polychlorés, et des hydrocarbures polycycliques aromatiques pendant la combustion. Les essais ont été faits dans un four à chargement automatique à multi-combustible destiné aux applications domestiques de 50 kW. D'après les mesures des émissions de CO, il semblait que les conditions de combustion étaient constantes. Des analyses ont été faites sur les gaz de combustion et sur différentes fractions des cendres. Les concentrations de PCDD étaient dans la fourchette de 0,052–0,891 ng I-TEQ/Nm³ à 13% O₂ (Tableau 5). Toutes les émissions venant du bois étaient à des niveaux relativement bas. On a mesuré des émissions entre 10 et 25 fois plus élevées de PCDD/PCDF, de phénols polychlorés et de benzènes polychlorés dans le cas des plantes herbacées (Lavric, Konnov and De Ruyck 2004).

■ Tableau 5. Emissions de PCDD/PCDF venant de différents types de biomasse

Type de combustible	PCDD/PCDF ng I-TEQ/m ³
Bois (épicéa)	0,052
Paille (blé)	0,656
Foin	0,891
Triticale	0,052
Boulettes de canola	0,245

Source: LfU 2002.

Des données pour les émissions de PCDD/PCDF dans la combustion de biomasse liquide sont rares. Des tests sur un moteur à huile de canola pour la production combinée de chaleur et d'électricité (90 kW) ont donné des concentrations de PCDD/PCDF de 4–7 pg TEQ/m³. Les concentrations de PCB ont atteint 40–81 ng/m³ (LfU 2002).

4.2.3 La combustion de liqueurs noires

Le Tableau 6 montre des facteurs d'émission sélectionnés venant de chaudières de récupération des liqueurs noires Kraft.

■ Tableau 6. Emissions de PCDD/PCDF venant de chaudières de récupération de liqueurs noires Kraft

Combustible	Facteur d'émission (I-TEQ)	Facteur d'émission (TEQ-OMS)	Référence
Solides de liqueur noire	0,10–0,15 ng/kg	0,10–0,16 ng/kg	EPA 2000
	0,029–0,065 ng/kg	0,028–0,072 ng/kg	EPA 2000
	0,07 ng/kg		UNEP 2005

a. En général 1 kg de liqueur noire (teneur en eau 70%) correspond à un volume de gaz de cheminée de 5-8 m³ (teneur en oxygène entre 5 et 8%)

4.2.4 La combustion de tourbe

Dans le document European Commission 2006, des émissions de PCDD sont présentées dans le cas d'une chaudière atmosphérique à lit fluidisé équipée d'un filtre à manche, brûlant 50% de tourbe et 50% d'écorce. Les émissions de PCDD/PCDF s'élevaient à 0,008 ng TEQ/Nm³ (niveau des émissions de poussières: 10 mg/Nm³).

4.2.5 Autres rejets de PCDD/PCDF provenant de la combustion de la biomasse

Les PCDD/PCDF sont rejetés avec les résidus solides tels que les cendres résiduelles et les cendres volantes. En générale, les concentrations de PCDD/PCDF augmentent lorsque les particules deviennent plus petites (LfU 2002). Les concentrations de polluants dans

les cendres volantes ont donc tendance à être plus élevées que dans les cendres résiduelles.

Pohlandt et Marutzky ont analysé les cendres de four, de chaudière et les cendres volantes. Ils ont recueilli les cendres dans différentes installations de l'industrie du bois, d'un atelier de fumage, et de la combustion de bois imprégné d'agents préservatifs contenant du bore, du chrome et du cuivre dans un four de laboratoire à deux étages. Ils ont trouvé que les teneurs les plus élevées en PCDD/PCDF se trouvaient dans les cendres volantes. Les concentrations de PCDD/PCDF dans les cendres provenant du bois imprégné étaient plus élevées que dans celles provenant de la combustion du bois à imprégnation diluée, mais plus faibles que les concentrations dans les cendres volantes des installations industrielles brûlant du bois. Les concentrations de PCDD dans les cendres volantes étaient plus élevées que dans les cendres résiduelles. Cette observation a été confirmée par Wunderli *et al.* et par Yamamura *et al.* (Lavric, Konnov and De Ruyck 2004).

Les cendres volantes qui sont récupérées doivent être éliminées d'une manière écologiquement rationnelle, en particulier dans le cas de la combustion de déchets de bois (voir section III.C (iv), section 2.1 des présentes directives).

On élimine les cendres volantes provenant des installations de combustion de la paille dans des décharges sanitaires, surtout à cause de la teneur élevée en cadmium. On élimine normalement les cendres résiduelles dans les champs, mais elles peuvent aussi être utilisées comme matériaux de construction pour les routes lorsqu'on respecte certaines caractéristiques physiques et chimiques (European Commission 2006).

Les fractions les plus fines des cendres volantes doivent être mises en décharge à cause de leur teneur élevée en métaux lourds et en polluants organiques persistants. Des restes de sorbant usé doivent également être mis en décharge.

5. Meilleures techniques disponibles et meilleures pratiques environnementales

5.1 Mesures primaires et optimisation du procédé pour réduire les émissions de PCDD/PCDF (Nussbaumer and Hasler 1998)

1. Empêcher l'incinération illégale de déchets;
2. La combustion de bois contaminé tel que les déchets urbains et le bois de démolition, doit être strictement limitée aux installations équipées de systèmes de nettoyage des gaz efficaces; il est préférable que de tels matériaux ne soient pas utilisés dans des chaudières et soient plutôt considérés comme déchets.
3. Contrôle de la qualité du combustible (par exemple, valeur calorifique, teneur en eau, contaminants);
4. Technologie de combustion optimisée: amélioration du taux de combustion des gaz et des cendres, et réduction de la teneur en poussières:

- Optimiser le rapport d'air en excès à $<1,5-2$, mais il faut faire attention car tout changement apporté aux rapports d'air peut aussi affecter la quantité des autres émissions;
 - Bon mélange du gaz et de l'air (turbulence élevée);
 - Temps de résidence suffisant dans la zone chaude;
 - Perturbations minimales dans le lit de combustion et distribution homogène de l'air primaire;
 - Intégration facultative de la réduction catalytique sélective pour diminuer les NO_x ;
5. Mesures dans la chaudière:
- Temps de résidence minimale dans la gamme de température entre 180° et 500°C et minimisation des dépôts de poussières;
6. Optimisation des conditions opératoires de l'unité:
- Application de technologies de contrôle avancées pour la combustion pour assurer une combustion optimisée;
 - Fonctionnement dans des conditions stables, sans arrêts ni redémarrages et empêchement de changements rapides dans la production de chaleur et de la demande;
 - Nettoyage de la zone chaude des gaz de combustion à intervalles réguliers.

5.2 Mesures secondaires

1. Nettoyage optimisé des gaz
- Trempe rapide des gaz de combustion ($<200^\circ\text{C}$) avant le passage dans les filtres pour éviter la fenêtre de reformation (ou synthèse) *de novo*
 - Séparation des PCDD/PCDF dans des séparateurs de poussières (électrofiltres, filtres à tissus) en combinaison avec l'injection de sorbants (si nécessaire).
2. Destruction facultative des PCDD/PCDF par oxydation catalytique, c'est à dire en combinaison avec une réduction catalytique sélective pour la réduction des NO_x

6. Niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles

Pour les installations de comutilisant la biomasse, en particulier les unités brûlant du bois, on estime que l'on peut atteindre des niveaux d'émission en dessous de $0,1 \text{ ng I-TEQ/m}^3$

7. Suivi des performances et communication des résultats

Les émissions de PCDD/PCDF devront être mesurées régulièrement en conformité avec les normes internationales.

Afin d'assurer une combustion complète, les fours devront être équipés d'instruments de mesure qui suivent en continu les concentrations massiques des émissions de monoxyde de carbone.

Dans le but d'assurer la bonne marche des équipements de contrôle des émissions, les fours devront être équipés d'instruments de mesure qui suivent en continu les concentrations massiques des émissions de poussières, de manière qualitative et quantitative (en fonction des besoins des unités de tailles différentes). Pour de plus amples informations sur le suivi, voir la Section III (vi) de ces directives.

En plus, des procédures de contrôle de qualité devront être mises en œuvre pour le suivi de la composition du combustible.

Références

Baumbach G. and Zuberbühler U. 2002. *Entwicklung eines Feuerungskonzeptes zur Verbesserung des Ausbrandes bei gleichzeitiger NO_x-Minderung bei der Holzverbrennung im gewerblichen Bereich*. Report BWPLUS 3 96 007. Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen, University of Stuttgart.

CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment). 2000. *Energy-Efficient Technologies from Demolition, Packaging and Industrial Wood Waste*. Final Report. Programme THERMIE, Type B Action (STR-1965-98-FR), Phase I. CSTB with Quasco, CTBA, La Calade and DFIU/IFARE.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 2000. *Exposure and Human Health Reassessment of 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) and Related Compounds, Part I: Estimating Exposure to Dioxin-Like Compounds Vol. 2: Sources of Dioxin-Like Compounds in the United States*. Draft Final Report. EPA, Washington, D.C. www.epa.gov/ncea/pdfs/dioxin/part1/volume2/volume2.pdf.

European Commission. 2006. *Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants*. Formally adopted BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>.

IEA Bioenergy. 2004. *Biomass Combustion and Co-firing: An Overview*. IEA Bioenergy Task 32. www.ieabioenergy-task32.com.

Lavric E.D., Konnov A.A. and De Ruyck J. 2004. «Dioxin Levels in Wood Combustion: A Review.» *Biomass and Bioenergy* 26:115–145.

LfU (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz). 2002. *Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe*. Zusammenfassender Bericht zu 15 Teilprojekten.

Nussbaumer T. 2003. «Combustion and Co-combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction.» *Energy and Fuels* 17:1510–1521.

Nussbaumer T. 2004. *Dioxin- und PAK-Emissionen der privaten Abfallverbrennung*. Umwelt-Materialien Nr. 172. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

Nussbaumer T. and Hasler P. 1998. *Emissions of PCDD/F from Biomass Combustion*. Biomass for Energy and Industry, 10th European Conference and Technology Exhibition, 8–11 June 1998, Würzburg (Germany).

UNEP (United Nations Environment Programme). 2005. *Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases*. UNEP, Geneva. www.pops.int/documents/guidance/Toolkit_2003.pdf.

Yasuhara A., Katami T. and Shibamoto T. 2003. «Formation of PCDDs, PCDFs, and Coplanar PCBs from Incineration of Various Woods in the Presence of Chlorides.» *Environ. Sci. Technol.* 37:1563–1567.



<http://www.pops.int>

UNEP/SSC/BATBEP/2008/10

Section V.I.M
Section V.I.L
Section V.I.K
Section V.I.J
Section V.I.I
Section V.I.H
Section V.I.G
Section V.I.F
Section V.I.E
Section V.I.D
Section V.I.C
Section V.I.B
Section V.I.A
Section V.D
Section V.C
Section V.B
Section V.A
Sections I-IV

DIRECTIVES SUR LES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES

en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants

Les procédés spécifiques de production
de substances chimiques entraînant des rejets
de substances inscrites à l'Annexe C



Le contenu de cette publication peut être reproduit à des fins éducatives ou sans but lucratif, dans son intégralité ou en partie, quelque soit le format, sans autre permission spéciale, pourvu que la source soit parfaitement identifiée. Le Secrétariat de la Convention de Stockholm et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) souhaiteraient recevoir une copie de tout ouvrage utilisant cette publication comme référence. Cette publication ne peut faire l'objet de revente ou toute autre activité commerciale sans l'accord préalable et par écrit du PNUE.

Publiée par le Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en octobre 2008. Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser au:

Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Genève, Suisse
ssc@pops.int - www.pops.int

Mise en page et impression par: SRO-Kundig - Genève

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

T A B L E D E S M A T I È R E S

SECTION I: INTRODUCTION

- I.A** OBJECTIF
- I.B** STRUCTURE DU DOCUMENT ET UTILISATION DES DIRECTIVES ET CONSEILS
- I.C** PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C: DÉFINITIONS, RISQUES, TOXICITÉ
- I.D** ARTICLE 5 ET L'ANNEXE C DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- I.E** LIEN AVEC LA CONVENTION DE BÂLE
- I.F** LIEN AVEC D'AUTRES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

SECTION II: CONSIDÉRATIONS D'ALTERNATIVES DANS L'APPLICATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

- II.A** CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES DANS LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- II.B** LA CONVENTION DE STOCKHOLM ET LES SOURCES NOUVELLES
- II.C** UNE APPROCHE À LA CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES
- II.D** AUTRES CONSIDÉRATIONS DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM

SECTION III: MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES: DIRECTIVES, PRINCIPES ET CONSIDÉRATIONS CROISÉES

- III.A** DIRECTIVES
- III.B** PRINCIPES ET APPROCHES GÉNÉRAUX
- III.C** CONSIDÉRATIONS CROISÉES:
 - (i) PRODUITS CHIMIQUES DE L'ANNEXE C: MÉCANISMES DE FORMATION
 - (ii) CONSIDÉRATIONS SUR LA GESTION DES DÉCHETS
 - (iii) EFFETS BÉNÉFIQUES ADDITIONNELS DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LES PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C
 - (iv) GESTION DES GAZ DE PROCÉDÉ ET D'AUTRES RÉSIDUS
 - (v) FORMATION DES DÉCIDEURS ET DU PERSONNEL TECHNIQUE
 - (vi) MESURES, SUIVI ET PRÉSENTATIONS DES RAPPORTS

SECTION IV: COMPILATION DES RÉSUMÉS DES CATÉGORIES DES SOURCES INCLUSES DANS LES SECTIONS V ET VI

RESUMES DE LA SECTION V: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

RESUMES DE LA SECTION VI: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

SECTION V: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DE SOURCES: CATEGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

- V.A** LES INCINÉRATEURS DE DÉCHETS
- (i) DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, DÉCHETS DANGEREUX ET DE BOUES D'ÉPURATION
 - (ii) DÉCHET MÉDICAUX
- V.B** LE BRULAGE DE DÉCHETS DANGEREUX DANS LES FOURS A CIMENT
- V.C** LA PRODUCTION DE PÂTE À PAPIER UTILISANT LE CHLORE ÉLÉMENTAIRE, OU DES SUBSTANCES CHIMIQUES GÉNÉRANT DU CHLORE ÉLÉMENTAIRE
- V.D** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
- (i) PRODUCTION DU CUIVRE SECONDAIRE
 - (ii) USINES DE FRITTAGE DANS L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER
 - (iii) PRODUCTION D'ALUMINIUM SECONDAIRE
 - (iv) PRODUCTION DU ZINC SECONDAIRE

SECTION VI: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DES SOURCES: CATÉGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

- VI.A** LA COMBUSTION À CIEL OUVERT DE DÉCHETS, Y COMPRIS DANS LES DÉCHARGES
- VI.B** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE AUTRES QUE CEUX MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE C PARTIE II
- (i) PRODUCTION DU PLOMB SECONDAIRE
 - (ii) PRODUCTION D'ALUMINIUM PRIMAIRE
 - (iii) PRODUCTION DE MAGNESIUM
 - (iv) PRODUCTION D'ACIER SECONDAIRE
 - (v) PREMIÈRE FUSION DES MÉTAUX DE BASE

VI.C	LES SOURCES DE COMBUSTION RÉSIDENTIELLES
VI.D	LA COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES DANS DES CHAUDIÈRES DE CENTRALES ET LES CHAUDIÈRES INDUSTRIELLES
VI.E	LES INSTALLATIONS DE BRÛLAGE DE BOIS ET DE COMBUSTIBLES ISSUS DE LA BIOMASSE
VI.F	LES PROCÉDÉS SPÉCIFIQUES DE PRODUCTION DE SUBSTANCES CHIMIQUES ENTRAÎNANT DES REJETS DE SUBSTANCES INSCRITES À L'ANNEXE C
VI.G	LES FOURS CRÉMATOIRES
VI.H	LES VÉHICULES À MOTEUR, NOTAMMENT CEUX UTILISANT DE L'ESSENCE AU PLOMB
VI.I	LA DESTRUCTION DE CARCASSES D'ANIMAUX
VI.J	LA TEINTURE DE TEXTILES OU DU CUIR (AU CHLORANILE) ET LA FINITION (EXTRACTION ALCALINE)
VI.K	LES INSTALLATIONS DE BROYAGE DES ÉPAVES DE VÉHICULES
VI.L	LE CHAUFFAGE LENT DE CÂBLES EN CUIVRE
VI.M	LES RAFFINERIES D'HUILES USÉES

Section VI.F

Directives/conseils par catégorie des sources:
Catégories des sources dans la Partie III de l'Annexe C

**Partie III Catégorie de source (f):
Les procédés spécifiques de production de substances chimiques
entraînant des rejets de substances inscrites à l'Annexe C**

T A B L E D E S M A T I È R E S

VI.F	Les procédés spécifiques de production de substances chimiques entraînant des rejets de substances inscrites à l'Annexe C	9
1.	Description de procédé.....	9
1.1	Introduction aux procédés chimiques organiques	9
1.2	Le co-produit: le chlorure d'hydrogène (HCl).....	11
1.3	Chloration directe	11
1.4	Oxychlorination.....	11
1.5	Isolation du produit principal.....	14
1.6	Destruction de sous-produits.....	15
1.7	Les points communs des procédés organiques	16
1.8	Procédés chimiques inorganiques.....	17
2.	Sources potentielles de produits chimiques inscrits à l'Annexe C	19
2.1	Le procédé d'oxychloration	21
2.2	D'autres procédés faisant appel au chlore élémentaire.....	22
2.3	Le dioxyde de titane, procédé au chlore.....	22
2.4	Destruction de sous-produits.....	23
2.5	Produits.....	23
3.	Procédés alternatifs qui évitent la formation de substances chimiques inscrites à l'Annexe C	24
3.1	Considérations générales	24
3.2	Dioxyde de titane, procédé au sulfate	24
4.	Mesures primaires et secondaires	25
4.1	Options de fabrication réduisant les émissions de produits chimiques inscrits à l'Annexe C	25
4.2	Mesures primaires	26
4.3	Mesures secondaires: Meilleures techniques disponibles pour les pratiques de traitement de déchets.....	29
5.	Résumé des mesures	29
6.	Normes et mesures de performance	30
6.1	Normes de performance	30
6.2	Mesures des performances.....	31

Annexes

Annexe I. Synthèse des commodités chimiques.....	32
Références	34

Figures

Figure 1. Schéma général du procédé	10
Figure 2. Procédés C_1 et C_2	13
Figure 3. Schéma d'un procédé d'oxychloration.....	13
Figure 4. Destruction de sous-produits.....	16
Figure 5. Schéma fonctionnel d'un procédé organique générique.....	17
Figure 6. Le procédé au chlore pour la fabrication du dioxyde de titane	19

VI.F Les procédés spécifiques de production de substances chimiques entraînant des rejets de substances inscrites à l'Annexe C

■ Résumé

Cette section est focalisée sur les procédés utilisés pour la fabrication de produits chimiques industriels qui sont susceptibles de mener à la formation de polluant organiques persistants (en particulier ceux inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm). La plupart des procédés décrits partagent des étapes communes, y compris la chloration de matières premières organiques ou minérales, la purification des produits, la séparation des produits (normalement par distillation), la destruction de sous-produits à haut poids moléculaire et le recyclage ou la vente de l'acide chlorhydrique. La clef aux meilleures techniques disponibles est la séparation et la destruction efficaces des sous-produits organo-chlorés, qui pourraient contenir des polluants organiques persistants, tout comme les conseils au sujet de tous procédé d'incinération qui pourrait être utilisé. Pour certains produits, on présente aussi des procédés de fabrication améliorés qui réduisent la formation de polluants organiques persistants. On fournit également une gamme de normes de performance associées aux meilleures techniques disponibles pour chaque procédé individuellement.

1. Description de procédé

1.1 Introduction aux procédés chimiques organiques

Cette section est focalisée sur les procédés pour la fabrication de produits chimiques industriels qui pourraient théoriquement donner naissance aux substances inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm. La chloration est utilisée pour la synthèse de centaines de produits chimiques industriels et de spécialités (Wiley Interscience 2000; World Chlorine Council 2002). On peut également utiliser la chimie du chlore dans des procédés où le produit final ne contient pas d'atomes de chlore. Dans des conditions modernes opératoire cependant ces procédés ne représentent pas normalement une source majeure d'émission de produits chimiques inscrits à l'Annexe C (UNEP 2003; EPA 2001).

Beaucoup de principes généraux présentés ici – y compris l'utilisation efficace de matières premières et la minimisation de sous-produits et de déchets – sont des principes qui vont dans le sens d'une meilleure performance économique et écologique, en ligne avec les principes modernes de ce qui est connu sous le terme chimie et ingénierie vertes. On peut les appliquer aussi à un nombre beaucoup plus grand de procédés de fabrication utilisés pour faire une large gamme de produits chimiques fins (spécialités, faibles volumes), y compris des pesticides et produits pharmaceutiques. La fabrication de tels produits peut dépendre des propriétés uniques du chlore, qui est fait un outil indispensable dans la synthèse chimique.

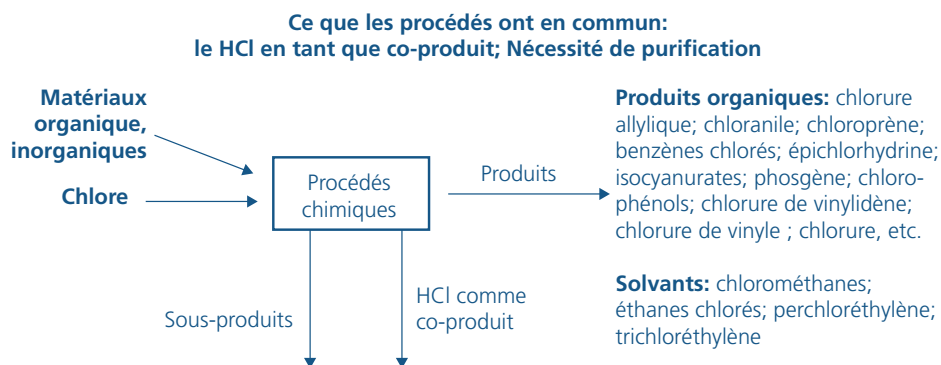
On donne dans l'Annexe 1 de cette section une liste de quelques-uns des procédés menant à des produits chimiques industriels (Wiley Interscience 2000). Il ne tombe pas dans le cadre de cette section d'essayer de définir les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales pour chacun de ces procédés individuellement; on examinera plutôt les procédés pour mettre en évidence ceux qu'ils ont en commun, et comment ces pratiques communes peuvent être exploitées pour réduire la formation, et en particulier le rejet, de produits inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm.

La plupart des procédés concernent un hydrocarbure, saturé ou non saturé, qui est mis en contact avec du chlore élémentaire, et aussi un catalyseur dans la majorité des procédés. Les réactions peuvent être des additions électrophiles à des oléfines, des chlorations d'aromatiques ou des scissions homolytiques de liaisons carbone-hydrogène avec la formation ensuite du chlorure aliphatique. Dans de nombreux cas, des atomes de chlore sont présents dans le produit final; dans d'autres, par exemple l'addition d'un alcool ou amine au phosgène pour obtenir des plastiques polycarbonate et polyuréthane, il n'y a pas d'atomes de chlore présents dans le produit final. En plus, la plupart des procédés génèrent de l'acide chlorhydrique (HCl) en tant que co-produit, à la suite d'une déshalogénéation ou d'une réaction de radicaux libres entre le chlore et l'hydrogène aliphatique (Figures 1 et 2).

Les produits bruts de ces réactions peuvent être variables en ce qui concerne le rendement global et la pureté, et comme dans tous les procédés de chimie industrielle, une purification du produit final est nécessaire avant que l'on puisse utiliser le produit sur place ou le vendre. La purification peut impliquer la séparation d'un mélange de produits ayant une valeur marchande – dans beaucoup de cas une gamme de produits utiles à partir d'une seule réaction – ou la séparation de produits vendables résultant de la formation inévitable de sous-produits à haute masse moléculaire. Pour la plupart des produits organiques, et pour quelques produits inorganiques, cette étape de purification implique une distillation.

En général, on ne peut vendre les produits à haute masse moléculaire en tant que tels. Dans certains cas ils peuvent être oxydés thermiquement, avec le HCl, le monoxyde de carbone (CO) et le dioxyde de carbone (CO₂) comme produits de cette oxydation. Le HCl est récupéré et réutilisé comme partie intégrale du procédé. Dans certains cas, ces produits sont considérés comme des déchets à détruire, normalement par une incinération de produits toxiques, bien que le recyclage du HCl soit assez courant.

■ Figure 1. Schéma général du procédé



1.2 Le co-produit: le chlorure d'hydrogène (HCl)

L'acide chlorhydrique (HCl) est traité par une ou plusieurs des méthodes suivantes. Il peut être simplement neutralisé et rejeté en tant que sel (chlorure de sodium). Dans certains procédés cependant, le HCl peut représenter une partie importante de la quantité de chlore introduit au départ; la neutralisation et le rejet peut alors constituer un manque à gagner significatif au niveau des pertes en matières premières.

Le HCl peut être récupéré, hydraté, puis vendu comme produit commercial, l'acide muriatique (acide chlorhydrique), ou utilisé pour l'ajustement de pH dans des cellules chlor-alkali. Il y a donc un recyclage électrolytique du HCl en chlore. Aux Etats-Unis, on a procédé à l'analyse de l'acide muriatique, provenant comme sous-produit de la fabrication du chlorure de vinyle, pour détecter la présence de dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD) et de dibenzofuranes polychlorés (PCDF); des concentrations d'environ 20 pg I-TEQ/L ont été trouvées (0,004 g I-TEQ/an pour la production commerciale aux Etats Unis) (Carroll *et al.* 1997).¹

On peut aussi sécher le HCl, l'oxyder sur catalyseur et, en présence de matière premières organiques, l'utiliser comme un réactif à base de chlore élémentaire pour fabriquer encore plus du sous-produit désiré. Le procédé utilisé pour faire ceci s'appelle l'oxychloration et représente un moyen pour réaliser une récupération *in situ* d'une source intéressante de chlore.

1.3 Chloration directe

L'addition de chlore, par une réaction utilisant des radicaux libres, aux hydrocarbures aliphatiques, typiquement le méthane, et l'addition électrophile directe d'un halogène à un alkylène sont bien connues comme procédés de base de la chimie organique. Industriellement, le premier procédé est catalysé par la lumière et le second est normalement une réaction à basse température catalysée par le chlorure ferrique (FeCl₃) (site Internet: OxyVinyls). Pour le premier, on cherche un mécanisme à radical libre. Par contre, pour le second, il se produit des réactions secondaires indésirables à cause des radicaux libres, ce qui peut être inhibé par de faibles concentrations d'oxygène.

Il n'existe que peu de chances qu'il se forme des polluants organiques persistants en tant que sous-produits dans les procédés de chloration directe d'hydrocarbures aliphatiques purs. Des matières premières aromatiques peuvent aussi être chlorées directement à l'aide d'un catalyseur acide de Lewis. La présence de chlorures aromatiques, produits par le procédé, ouvre la possibilité de formation de polluants organiques persistants dans certaines conditions.

1.4 Oxychloration

Dans les procédés d'oxychloration, une substance organique telle que l'éthylène réagit avec du HCl sec, et de l'air ou de l'oxygène pur dans une réaction à catalyse hétérogène (Figure 3). Un exemple est la réaction entre le HCl, l'oxygène et l'éthylène pour donner le dichloréthylène et de l'eau.



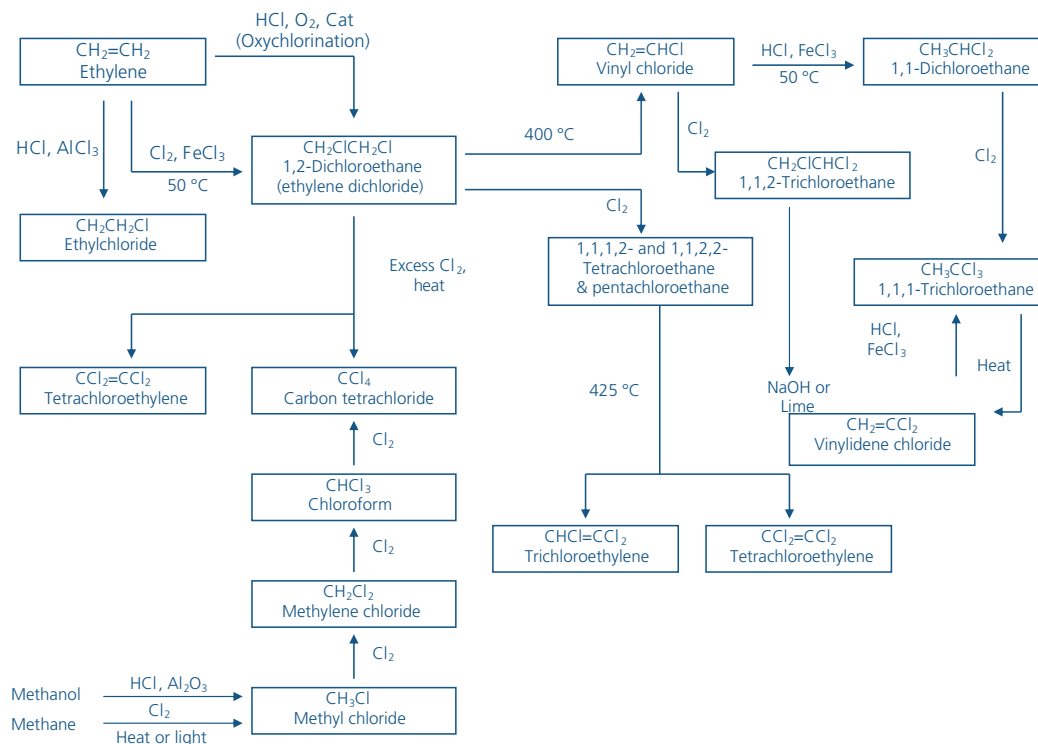
Bien qu'il y ait plusieurs procédés différents commerciaux d'oxychloration, la réaction se fait dans chaque cas en phase gazeuse sur un catalyseur Deacon modifié. Au contraire du procédé Deacon (qui utilise de l'air ou de l'oxygène pour oxyder le HCl en chlore (Cl₂) et H₂O en chauffant avec un catalyseur) l'oxychloration de l'éthylène se produit facilement à des températures bien plus faibles que celles nécessaires pour l'oxydation directe du HCl *per se*. Le catalyseur contient généralement du chlorure cuivrique (CuCl₂) comme matière première principale, imprégné dans un support poreux comme l'alumine, et peut aussi contenir de nombreux autres additifs.

La réaction d'oxychloration génère de la chaleur et demande donc un refroidissement pour contrôler la température, ce qui est essentiel pour une fabrication efficace du dichloréthylène. Bien qu'il existe une température minimale effective pour les réactions, des températures excessivement élevées dans les réacteurs mènent à la production de davantage de sous-produits, surtout à travers une oxydation accrue de l'éthylène en oxydes de carbone et une augmentation du craquage du dichloréthylène. Le craquage du dichloroéthylène mène au monomère de chlorure de vinyle (VCM) puis à une oxychloration, ainsi progressivement à des sous-produits à haute masse moléculaire avec des taux de substitution avec du chlore plus élevés. Des températures excessives (>300°C) peuvent aussi désactiver le catalyseur à cause d'une sublimation plus forte du CuCl₂. Il y a une forte pression commerciale pour éviter ces conditions de réaction (surchauffe) qui sont susceptibles de mener à la production de sous-produits polychlorés.

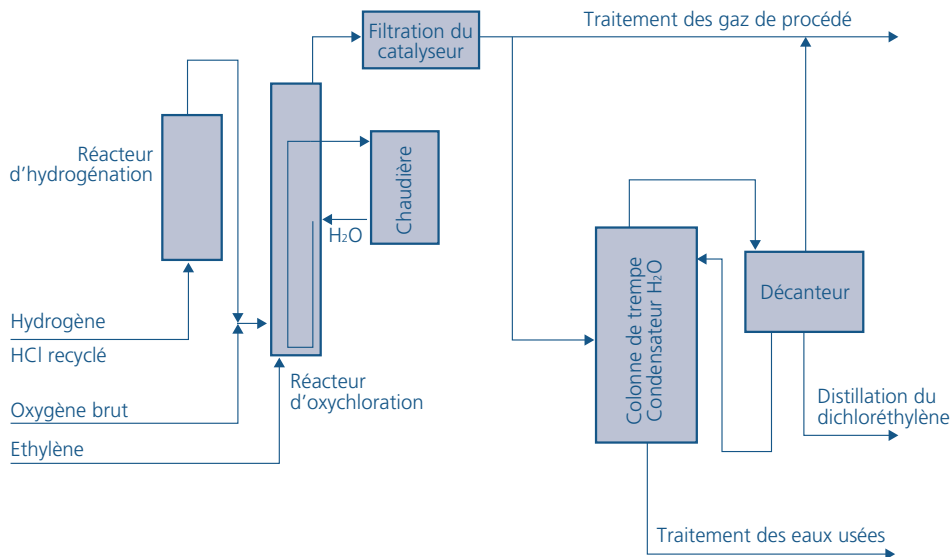
On utilise deux types de systèmes catalytiques en oxychloration: lit fixe et lit fluidisé. Les deux peuvent être considérés comme des meilleures techniques disponibles (European Commission 2003).

L'utilisation de certaines matières premières dans un procédé d'oxychloration peut mener à une formation plus importante de polluants organiques persistants. Par exemple l'oxychloration de résidus de distillation dans une unité de chlorure de vinyle peut produire des quantités significatives de PCDD/PCDF (UK Environment Agency 1997).

■ **Figure 2. Procédés C₁ et C₂** (Wiley Interscience 2000)



■ **Figure 3. Schéma d'un procédé d'oxychloration**



Source: Site Internet Vinnolit.

1.4.1 Oxychloration en lit fixe

Les réacteurs à lit fixe ressemblent à des échangeurs de chaleur multitubes, avec le catalyseur placé dans des tubes verticaux tenu par une plaque tubulaire en haut et en bas. Il est important que le catalyseur soit tassé de manière régulière dans les tubes afin de garantir une uniformité pour les pertes de pression, l'écoulement et le temps de résidence dans chaque tube. La chaleur de réaction est évacuée en générant de la

vapeur sur le côté coquille du réacteur, ou bien en faisant y passer un autre liquide caloporteur.

Le contrôle de température dans ces réactions est important. On peut réduire les chances de création de points chauds en garnissant les tubes du réacteur avec un catalyseur actif et des mélanges diluants dans des proportions qui varient le long des tubes pour qu'il y ait une activité faible du catalyseur à l'entrée du tube, et une activité augmentant régulièrement jusqu'à un maximum à la sortie.

Autrement, les tubes peuvent être garnis avec un catalyseur formulé pour avoir un gradient d'activité le long des tubes. On peut aussi utiliser des réacteurs multiples en série pour l'oxychloration en lit fixe, fournissant ainsi un gradient similaire d'activité. L'utilisation d'oxygène pur comme alimentation à la place de l'air permet de réduire la température et donc de diminuer la formation de sous-produits chlorés; cependant il faut évaluer cette approche en tenant compte de l'énergie nécessaire pour obtenir de l'oxygène pur. En adaptant les apports d'air et d'oxygène, et en modulant l'activité du catalyseur, on aplatit le profil de température, ce qui permet un meilleur contrôle de la température (site internet: OxyVinyls).

1.4.2 Oxychloration en lit fluidisé

Les réacteurs à lit fluidisé pour l'oxychloration sont normalement des chambres verticales cylindriques équipées d'une grille et un distributeur des matières entrantes conçu pour donner une bonne fluidisation et une bonne distribution des matériaux. Ils comprennent des serpentins de refroidissement interne pour évacuer la chaleur, et utilisent des cyclones intérieurs ou extérieurs pour minimiser l'entraînement du catalyseur. La fluidisation du catalyseur assure un très bon contact entre les matières entrantes et les vapeurs des matières produites, le catalyseur et les surfaces de transfert de chaleur, et permet d'obtenir une répartition uniforme de la température à l'intérieur du réacteur. La chaleur de réaction est évacuée en générant de la vapeur dans les serpentins de refroidissement, ou en y faisant circuler un autre milieu de transfert.

Des températures opératoires entre 220°–245°C et une pression mesurée de 150–500 kPa (22–73 psig) sont typiques pour l'oxychloration dans un réacteur à lit fluidisé. Les oxychloration en lit fixe se font normalement à des températures plus élevées (230°–300°C) et des pressions mesurées de 150–1'400 kPa (22–203 psig). Les sous-produits chlorés de l'oxychloration de l'éthylène comprennent normalement 1,1,2-trichloréthane, chloroforme, tétrachlorure de carbone, chlorure d'éthyle, chloral, 2-chloroéthanol, tous les congénères du chlorure vinylique, et des produits à plus haut point d'ébullition (site Internet OxyVinyls).

1.5 Isolation du produit principal

Un autre aspect commun à tous ces procédés est la nécessité de purifier les produits qui seront soit vendus ou utilisés dans d'autres étapes en aval du procédé. Dans presque tous les cas, les produits organiques de la réaction seront distillés. Une distillation fractionnée sépare les différents flux de produits recherchés, et sépare aussi les produits recherchés de matériaux non voulus à haut poids moléculaire, appelés après-coulants ou goudrons.

Dans l'Union Européenne, la Directive sur la Prévention et Réduction Intégrées de la Pollution (Integrated Pollution Prevention and Control: IPPC) exige l'utilisation des meilleures techniques disponibles dans la préparation d'une demande d'autorisation pour une nouvelle unité de production. Pour rendre ceci plus facile, des documents de référence sur les meilleures techniques disponibles (BREF) sont produits, dans le cadre de la Directive, par le Bureau Européen de l'IPPC. Plusieurs d'entre eux sont pertinents pour la mise en œuvre des meilleures techniques disponibles aux procédés utilisant la chloration: par exemple, le BREF relatif aux procédés de chimie organique à grand volume, préparés dans le cadre de la Directive, contient des considérations sur la distillation (European Commission 2003).

La distillation est une opération standard d'ingénierie. Elle est basée sur des vaporisations et condensations cycliques de liquide dans une colonne, qui est typiquement constituée de garnissages ou de plateaux afin de maximiser la surface de contact. La vapeur qui atteint le haut de la colonne est enrichie en matériaux ayant le point d'ébullition le plus faible dans le mélange de distillation.

La conception et l'opération d'unités de distillation sont bien comprises, à la fois du point de vue de la théorie de séparation, et dans la pratique. Pour les matériaux non azéotropes et ayant des points d'ébullition bien séparés — par exemple le chlorure de vinyle et PCDD/PCDF — on peut effectuer des séparations virtuellement complètes dans une colonne qui est bien conçue et bien utilisée (site Internet: ChEResources).

Les produits recherchés sont isolés et transportés comme liquides. Pour des produits qui ont des points d'ébullition supérieurs à la température ambiante (par ex. le dichloréthane) on utilise des récipients fermés, mais non pressurisés. Pour des produits avec des points d'ébullition en dessous de l'ambiant (par ex., chlorure de vinyle, chlore) des récipients pressurisés sont utilisés.

Certaines isolations de produits ne sont pas adaptées à la distillation. En principe, on peut utiliser des techniques similaires et rigoureuses (par ex., la recristallisation) pour des produits spécifiques. Dans la mesure où ces pratiques sont capables de produire un résultat similaire, par exemple une isolation de sous-produits dans un flux séparé, celles-ci pourraient être qualifiées dans certaines circonstances comme meilleures techniques disponibles.

1.6 Destruction de sous-produits

Des matériaux non désirés, comme des fractions lourdes, sont généralement détruits par des traitements thermiques, avec ou sans oxygène. La Figure 4 montre une unité prototype de destruction de produits non désirables avec récupération du HCl.

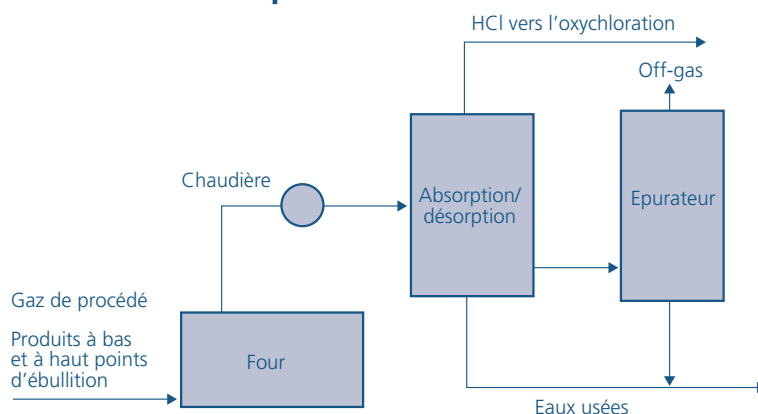
La gestion écologiquement rationnelle de sous-produits et divers déchets provenant de procédés chimiques est cruciale pour éviter le rejet de substances inscrites à l'Annexe C dans l'environnement. Cette gestion comprend à la fois la destruction efficace et performante des déchets générés par un procédé, et des méthodes en fin de chaîne (*end of pipe*) pour éviter de tels rejets. Ces méthodes de destruction et de traitement en fin de chaîne pour les industries chimiques et autres sont normalement bien définies par la réglementation, et devront être suivies de près par les opérateurs et autorités.

Les émissions dans l'air et l'eau, ainsi que rejets de solides résultant de ces procédés peuvent être analysés pour les produits chimiques inscrits à l'Annexe C, et traités de manière appropriée. Des informations complémentaires sont disponibles dans les BREF de l'Union Européenne sur les procédés chimiques organiques à grand volume, et sur le traitement des émissions aqueuses et gazeuses dans le secteur chimique. Une revue des technologies pour le traitement de l'air, l'eau et des solides se trouve dans les considérations d'ensemble de la Section (III.C) du présent document.

En général, les meilleures techniques disponibles pour les rejets dans l'air peuvent comprendre la récupération et le recyclage du HCl, la combustion des volatiles à l'état de traces, le lavage des émissions d'incinérateurs avec de l'eau, des solutions alcalines ou de l'alcali sec, et l'addition de charbon actif et filtres à manche pour l'élimination de matière particulaire. Ceux-ci peuvent être utilisés seuls ou en combinaison. Le traitement des effluents aqueux peut comprendre un stripping et la récupération (condensation ou absorption) de matière volatiles de l'eau.

La purification biologique des eaux en aval avec élimination des solides est effectuée dans des unités spéciales de traitement des eaux. On tiendra compte des meilleures techniques disponibles pour les deux (air et eaux) dans le processus d'attribution de permis pour les installations où l'on incinère des résidus lourds du procédé.

■ Figure 4. Destruction de sous-produits



1.7 Les points communs des procédés organiques

La Figure 5 résume de manière générique plusieurs des procédés décrits, y compris la chloration de matières premières organiques ou inorganiques, la purification des produits, la séparation des divers flux pour être recyclés (HCl, produits à point d'ébullition moyen), destruction de sous-produits (produits organiques à haut point d'ébullition) et la vente des produits (à bas point d'ébullition, HCl, produits finaux).

L'EPA des Etats-Unis note:

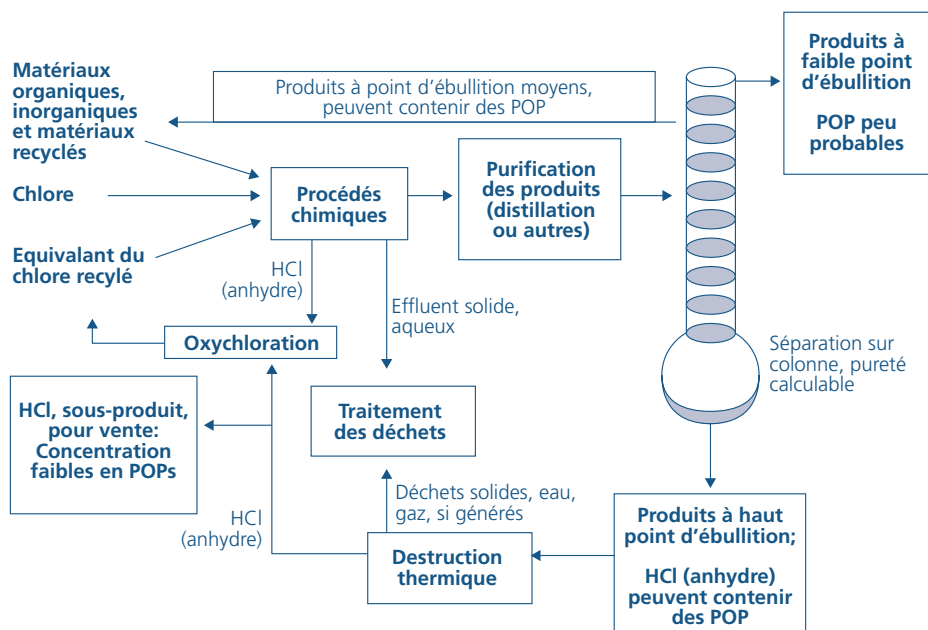
«Quatre mécanismes majeurs ont été proposés pour expliquer la formation de furanes et dioxines halogénés dans la fabrication de substances organiques chlorés: (1) l'halogénéation directe de dioxines ou de furanes; (2) la réaction d'un halogène ortho avec un phénate; (3) la perte de l'halogène (par ex., chlore ou brome) d'un phénate halogéné

pour donner des furanes halogénés; et (4) des réactions entre halogènes substitués en ortho- et méta-» (EPA 1997).

Le mécanisme (1) suppose l'existence d'une structure cyclique PCDD ou PCDF déjà formée, peut-être non-halogénée. Les mécanismes 2 à 4 décrivent des réactions de produits aromatiques halogénés ou de phénols halogénés. Un certain nombre de facteurs influence la quantité de PCDD et de PCDF qui peut se former dans un procédé de fabrication donné, parmi lesquels la température, le pH, le catalyseur, et les cinétiques de réaction (EPA 1997). L'influence de ces facteurs peut être affectée par la chimie particulière, par exemple la présence de matériaux organiques aromatiques ou aliphatiques.

De la même manière, Fiedler *et al.*(2000) ont noté que la possibilité de formation de PCDD/PCDF dans des procédés chimiques pour la fabrication de matériaux contenant du chlore décroît généralement dans l'ordre: chlorophénols > chlorobenzènes > chlorures aliphatiques > chlorures inorganiques. Cette tendance peut encore être modulée par d'autres conditions de réaction. La production totale sera affectée à la fois par la facilité de formation, et le volume concerné, de telle manière à ce qu'un procédé à grand volume tel que la fabrication de chlore peut donner un plus grand flux massique qu'un procédé à haute concentration et haut rendement, mais avec un petit volume.

■ **Figure 5. Schéma fonctionnel d'un procédé organique générique**



1.8 Procédés chimiques inorganiques

Le chlore est utilisé pour la production de produits inorganiques, qu'il reste dans le produit final (NaOCl , ClO_2 , FeCl_3 , AlCl_3 , ZnCl_2 , etc.) ou qu'il soit simplement utilisé dans le procédé (TiO_2 , Si). Ces produits inorganiques peuvent être utilisés soit de manière stoechiométrique (NaOCl , ClO_2) ou en tant que catalyseurs (FeCl_3 , AlCl_3 , ZnCl_2 , etc.). Il existe deux procédés de fabrication de produits minéraux qui sont en relation avec quelques substances inscrites à l'Annexe C.: le procédé au chlorure pour la fabrication du dioxyde de titane (TiO_2) exploité par certains producteurs, la fabrication du chlorure

de magnésium anhydre (MgCl_2), un intermédiaire dans la fabrication du magnésium métallique. D'autres procédés de carbochloration de métaux pour le traitement de minerais peuvent se faire dans des conditions similaires

1.8.1 Le chlore et l'hydroxyde de sodium ou potassium

Le chlore et l'hydroxyde de sodium ou de potassium sont produits par l'électrolyse de solutions aqueuses de chlorure de sodium et de potassium respectivement. Il existe de nombreuses technologies associées à ce procédé, et bien qu'un traitement complet sorte du cadre de ce document, un survol en est fourni par plusieurs références générales (European Commission 2001, Annexe 1; Wiley Interscience 2000).

On sait de manière anecdotique, ce qui est confirmé par des rapports sur des rejets de polluants organiques persistants dans des installations modernes de chlor-alcali, qu'il existe une possibilité de formation de dioxines et de furanes à un point quelconque dans le procédé chlor-alcali.

On sait que l'utilisation d'électrode en graphite dans ce procédé peut être une source de produits chimiques inscrits à l'Annexe C. On considère généralement que ce procédé est obsolète dans des installations modernes (voir la sous-section 4.2.2 ci-dessous). Par rapport à d'autres sources dans le procédé, on ne dispose pas d'une bonne compréhension du mécanisme de la formation; on pense cependant que le contact entre du chlore élémentaire et des structures préformées apparentées au furane, présentes dans les joints organiques, pourraient en être une source (voir sous-section 2.2). Même dans des procédés modernes on a mesuré la présence de PCDD/PCDF dans les rejets, et ils sont donc produits dans ces procédés.

1.8.2 Dioxyde de titane

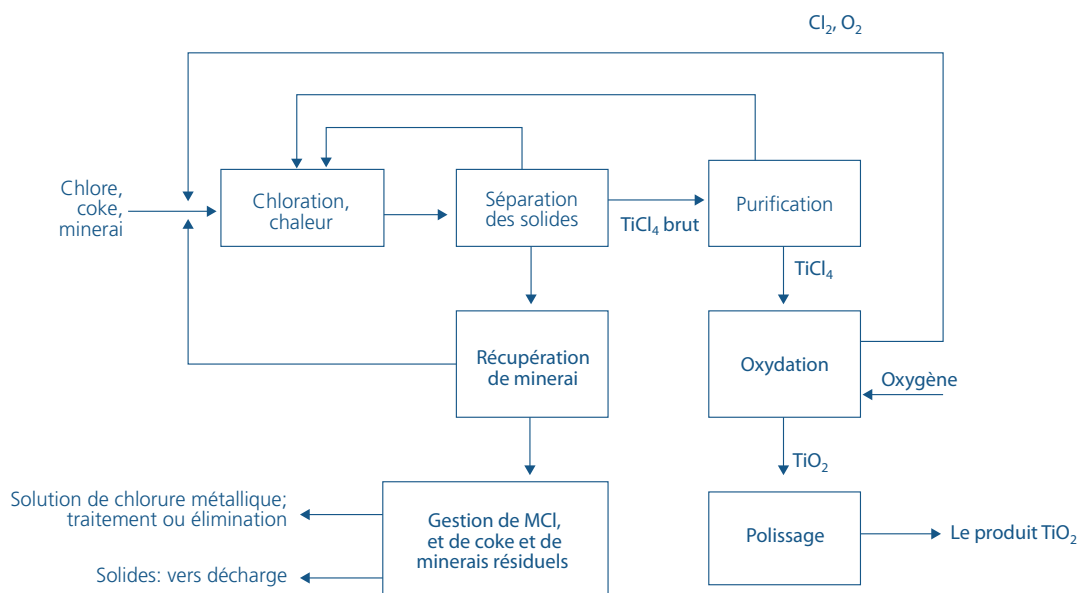
Deux procédés sont utilisés pour la fabrication du dioxyde de titane (TiO_2): le procédé au chlore et le procédé au sulfate. Ils représentent un cas d'école intéressant: le procédé au chlore produit bien moins de déchets mais peut être une source de polluants organiques persistants. Le procédé au sulfate implique beaucoup plus de déchets dans d'autres catégories, ce qui est un problème car le dioxyde de titane est un produit chimique à haut volume.

La fabrication du dioxyde de titane avec le procédé au sulfate mène à des quantités importantes d'acides épuisés contaminés, de concentrations variables. Dans le passé, on ne pouvait pas recycler de tels acides ou les utiliser dans d'autres procédés de fabrication. Au cours des dernières années, des méthodes ont été développées et sont maintenant couramment utilisées pour la fabrication du dioxyde de titane dans les pays développés.

On utilise de plus en plus le procédé au chlore pendant ces trente dernières années comme un alternatif au procédé au sulfate générant des quantités importantes d'acides usés. L'option au chlore est un procédé relativement compact, permettant le recyclage de matériaux du procédé directement, sans de produits secondaires, et avec des produits d'une meilleure qualité et bien moins de déchets. Le minerai TiO_2 , par exemple le rutile ou l'ilménite – contenant d'autres oxydes métalliques – est chloré à haute température pour donner du tétrachlorure de titane (TiCl_4), un liquide qui est stable et qu'on peut

distiller. D'autres halogénures métalliques sont éliminés après refroidissement. Le $TiCl_4$ est ensuite purifié et oxydé avec de l'oxygène libérant du chlore qui est recyclé dans le procédé. Ce procédé d'oxydation est favorisé thermodynamiquement à des températures supérieures à $600^{\circ}C$. Un schéma simplifié du procédé au chlore est présenté dans la Figure 6 et une description plus détaillée de procédé au sulfate concurrentiel se trouve au paragraphe 3.1 ci-dessous.

■ **Figure 6. Le procédé au chlore pour la fabrication du dioxyde de titane**



1.8.3 Chlorure de magnésium anhydre

Le chlorure de magnésium ($MgCl_2$) peut être fabriqué par la réaction entre l'oxyde de magnésium (MgO), du coke et du chlore élémentaire à $700-800^{\circ}C$. Des détails sur ce procédé ainsi que ses rejets sont présentés à la Section VI.B (iii) de ce présent document (fabrication du magnésium).

2. Sources potentielles de produits chimiques inscrits à l'Annexe C

La présence ou la production de substances aromatiques est primordiale pour la formation de la structure de base des PCDD, PCDF, polychlorobiphényles (PCB) et l'hexachlorobenzène (HCB). Ces matériaux doivent, à un moment ou un autre, être chlorés. UNEP 2003 note que pour les procédés chimiques, la génération de PCDD/PCDF pourrait être favorisée dans ceux des procédés qui utilisent, seuls ou ensemble, le chlore élémentaire, des températures élevées, des conditions alcalines et une source de radicaux libres.

Pour la formation de PCDD/PCDF il faut qu'il y ait une source d'oxygène ou des PCDD/PCDF (ou structure analogues) non-chlorés. Bien qu'il soit difficile d'imaginer des situations où les PCDD/PCDF sont générés sans la possibilité de générer les PCB ou HCB, les PCDD/PCDF sont favorisés en tant que sous-produits dans les procédés où les phénols

chlorés constituent le support sur lequel on fait réagir des phénols avec du chlore, surtout si l'on utilise des alcalis (voir les sous-sections 4.2.3, 4.2.4 et 4.2.5 ci-dessous). La combustion est une source très probable pour tous ces matériaux; la formation de sous-produits dépend de la technologie précise utilisée dans les procédés de combustion, surtout ceux qui impliquent des combustions non contrôlées. Les réactions de carbochlorination (par ex., MgO transformé en MgCl₂) peuvent également représenter une source (voir sous-section 1.8 ci-dessus).

Le HCB peut se former de manière préférentielle dans des réactions du même type que celles citées plus haut, si l'oxygène ou des matériaux oxygénés sont exclus. Des réactions électrolytiques avec des électrodes en graphite tombent dans cette catégorie. On peut obtenir un résultat similaire lorsque des composés aliphatiques cycliques chlorés sont présents et qu'une déshalogénéation peut se produire, comme dans des réactions où l'hexachloro-cyclohexane est la matière première.

Dans certains cas, la source du carbone aromatique peut être fortuite. Le benzène, présent comme une impureté dans les matières premières de presque toute réaction de chloration, pourrait mener au HCB comme sous-produit, même si on ne s'y attendrait pas d'après la chimie de la réaction mise en œuvre. Quelques brevets se réfèrent à une réduction des aromatiques dans les matières premières dans d'autres produits, comme moyen pour réduire la production par inadvertance de polluants organiques persistants comme sous-produits (voir la sous-section 4.2.8). Finalement, si le HCB est la matière première dans un procédé, l'entraînement de cette substance dans le produit final provoquera une contamination (voir la sous-section 4.2.5).

Plusieurs inventaires nationaux présentent des estimations des émissions concernant les PCDD/PCDF et PCB. Pour les PCDD/PCDF, les inventaires couvrent généralement la génération non-intentionnelle de produits. Ce sujet est traité dans le Toolkit du PNUE (UNEP 2003). Dans le cas des PCB, les inventaires, s'ils existent, couvrent surtout des produits anciens encore en service, des déchets stockés ou des productions récentes. Très peu de données sur la génération de PCB par inadvertance existent.

Il est important de noter qu'il existe des sources de tous ces sous-produits qui ne sont pas liés à des procédés chimiques, mais leur rejet ne peut être évité que par la mise en place de technologies de haute performances, par la fermeture des cycles et par l'installation de contrôles internes et externes des flux de produits et de déchets, et des émissions, ces contrôles étant liés à leur destruction.

Pour le HCB, qui peut être à la fois un produit et un sous-produit, la situation est similaire à celle des PCB; cependant il existe quelques inventaires pour le HCB en tant que sous-produit. Le pic de production mondiale et des émissions du HCB s'est produit à la fin des années '70 et tôt dans les années '80. La production se trouvait à un niveau d'environ 10'000 tons par an entre 1978 et 1981 (Rippen and Frank 1986) dont 80% était vraisemblablement en Europe. Un apport important dans l'environnement de ce produit était son utilisation en tant que pesticide, surtout comme fongicide pour les graines des oignons et le grand millet, et aussi pour des cultures telles que le blé, l'orge, l'avoine et le seigle, et comme fongicide pour contrôler la carie du blé.

Depuis lors, à cause de plusieurs réglementations et interdictions, la production et les émissions se sont réduites de manière significative. Bailey (2001) a publié une étude sur

les sources et émissions du HCB à travers le monde au milieu des années '90. Les émissions totales pour cette période ont été estimées à 10–90 tonnes par an. Dans les années '90 la contribution de diverses sources aux émissions mondiales totales était: combustion de fuel 3,7%; l'industrie du fer et de l'acier 0,3%; l'industrie des non-ferreux 36%; l'industrie de chimie organique 5,8%; autres usages de solvant 0,004%; incinération des déchets 26%; et utilisation comme pesticide 28%. Il y avait des différences considérables entre l'Europe, les Etats-Unis et le Canada.

Une analyse détaillée récente des publications sur les émissions de HCB a été préparée sous forme du Euro Chlor Science Dossier (Barber, Sweetman and Jones 2005). Ce dossier fournit une vue d'ensemble assez complète de toute les informations pertinentes publiées jusqu'en 2004. Il donne des détails sur la fabrication et les émissions pendant différentes périodes, pour des pays et régions différents et pour des utilisations différentes; il traite également des sources secondaires et historiques. Une version plus courte de ce dossier a été publiée dans la littérature à examen collégial (Barber *et al.* 2005).

2.1 Le procédé d'oxychloration

La présence de chaleur, de chlore élémentaire, de cuivre d'un catalyseur comme le chlorure de cuivre et des matières organiques fait que le procédé d'oxychloration présente un potentiel de génération de substances inscrites à l'Annexe C, en particulier les PCDD/PCDF et le HCB. Des substances aromatiques peuvent être produites dans des procédés à haute température et peuvent également être présents dans les matières premières, y compris dans le HCl ou l'air. Les conditions dans un réacteur d'oxychloration sont similaires sous certains angles aux conditions qu'on trouve proche d'un incinérateur, en aval de la zone de combustion, mais il pourrait, ou ne pourrait pas, contenir des quantités similaires de carbone élémentaire sous forme de suie ou des hydrocarbures polycycliques aromatiques qui pourraient contribuer à la formation *de novo* de PCDF (Lenoir *et al.* 2001; site Internet OxyVinyls). Il est possible cependant d'éliminer presque complètement les produits chimiques inscrits à l'Annexe C qui sont formés dans ce procédé, sous forme de matériaux à haut point d'ébullition, à la suite d'une distillation.

Quelques produits chimiques inscrits à l'Annexe C colleront aux particules de catalyseur. Dans le cas de systèmes à lit fixe, ils peuvent faire partie du catalyseur usagé qui est mis hors service. On peut traiter ce matériau thermiquement pour détruire les substances organiques adsorbés, ou bien le placer dans une décharge autorisée. Dans un réacteur, les particules de catalyseur du lit fluidisé subissent une attrition et peuvent être entraînées dans les flux gazeux. Ces particules se retrouvent dans le déchet solide ou dans les solides biologiques éliminés à la fin du traitement des eaux.

2.1.1 Le procédé à l'acétylène pour le chlorure de vinyle

L'utilisation du procédé équilibré pour la fabrication du dichloréthylène, suivi du craquage pour donner du chlorure de vinyle, a presque entièrement, mais pas tout à fait, remplacé depuis cinquante ans la fabrication du chlorure de vinyle par le procédé à l'acétylène. Dans le procédé à l'acétylène, l'oxyde de calcium et le coke ou charbon sont chauffés ensemble jusqu'à environ 2,000°C pour donner du carbure de calcium

(CaC₂). Lorsqu'on fait réagir le CaC₂ avec de l'eau, on forme de l'acétylène. On obtient le chlorure de vinyle par une réaction d'addition de HCl à l'acétylène à l'aide d'un catalyseur au mercure. Quelques analyses effectuées sur les effluents du procédé chlorure de vinyle n'ont mis en évidence que peu de produits inscrits à l'Annexe C. Le procédé pour faire le carbure de calcium est peu caractérisé cependant, mais l'augmentation récente dans les capacités pour fabriquer le carbure pourrait justifier des études plus détaillées.

2.1.2 Solvants chlorés

A cause du fait que les procédés pour fabriquer le trichloréthylène, le perchloréthylène, et le tétra-chlorure de carbone impliquent une chloration, une oxychloration et une pyrolyse, le sous-produit contiendra des substances inscrites à l'Annexe C. Ces matériaux peuvent être séparés des produits finaux par distillation et isolés pour laisser une fraction: le résidu de distillation. Il y a quelques années, ce type de matériau était envoyé en décharge; depuis les années '70 cependant, on fait appel plutôt à une incinération, ou à une destruction thermique avec récupération et réutilisation du HCl.

Il n'y a que peu d'exemple de grands stocks encore existants de matériaux contenant du HCB provenant de fabrications anciennes de solvants, ou de fabrications plus récentes de mauvaise qualité. L'Annexe II de cette section est une étude d'une unité Tchèque (IPEN 2006a). Dans le dossier Euro Chlor il y a une description d'une situation en Australie qui dure depuis longtemps (Barber, Sweetman and Jones 2005). Il faut noter qu'aucune de ces deux études représente des meilleures techniques disponibles ni des meilleures pratiques environnementales; en fait elles sont de bons exemples de l'inverse.

2.2 D'autres procédés faisant appel au chlore élémentaire

Il a été rapporté que le contact entre le chlore élémentaire et des pièces d'équipement fabriquées en matières organiques (joints d'étanchéité, garnitures, équipement en fibre de verre, etc.) qui pourraient contenir des substances aromatiques, des hydrocarbure polycycliques aromatiques ou du carbone élémentaire, peuvent donner naissance à des produits chimiques inscrits à l'Annexe C, souvent le PCDF. Dans certains procédés où des matériaux à haut point d'ébullition ou des condensats sont séparés du chlore élémentaire, et ne sont pas recyclés dans le procédé, des produits inscrits à l'Annexe C peuvent se trouver dans les effluents solides ou liquides.

2.3 Le dioxyde de titane, procédé au chlore

La présence de coke, de chlore, de métaux et des températures élevées peut donner naissance à des PCDD et PCDF similaires à ceux produits dans l'oxychloration. On s'attend à ce que les PCDD/PCDF, s'ils sont formés, se répartissent entre le ou les flux contenant du coke résiduel. Si le coke résiduel est utilisé pour la production de vapeur ou d'électricité, on doit tenir compte de la teneur possible en PCDD/PCDF.

Les émissions vers l'atmosphère provenant du procédé de chloration contiennent des traces de TiCl₄, Cl₂, HCl, CO et COS, même après la condensation du TiCl₄. Le TiCl₄, Cl₂ et HCl sont éliminés par un lavage en plusieurs étapes avec de l'acide. Les liqueurs de

lavage sont recyclées dans le procédé ou récupérées and partiellement vendues en tant qu'acide chlorhydrique pur (28%).

2.4 Destruction de sous-produits

Trois types de traitements sont fréquemment utilisés pour les déchets, en particulier les résidus de distillation: l'incinération de produits dangereux, l'oxydation thermique et l'oxydation catalytique. On présente des détails sur chacun d'entre eux dans le chapitre sur le dichloréthylène et le chlorure de vinyle dans European Commission 2003. Quand on brûle des résidus de distillation on peut générer quelques substances inscrites à l'Annexe C, comme dans tout procédé de combustion de produits dangereux. Le Bureau Européen de l'IPPC prépare actuellement un BREF sur les procédés de combustion de déchets; il y a cependant des exigences juridiques et on applique déjà des meilleures technologies disponibles aux Etats-Unis, l'Union Européenne et le Japon, entre autres. Il existe aussi des alternatives à l'incinération de déchets solides municipaux, de déchets toxiques et de boues de stations d'épuration pour effectuer la destruction de certains types de sous-produits; celles-ci sont présentées à la Section V.A du présent document (par exemple la réduction chimique en phase gazeuse, la déchloration catalysée par des bases, et la déshalogénation mécano-chimique). Le procédé Catoxid® est un procédé catalytique à lit fluidisé pour l'oxydation de produits organiques. Il génère un flux de HCl et de CO₂, qui est envoyé en totalité au réacteur d'oxychloration pour un recyclage interne (Randall 1994).

D'autres alternatives à l'incinération décrites dans ce document peuvent aussi être utilisées pour la destruction de certains types de sous-produits.

2.5 Produits

Plusieurs produits de ces procédés ont été analysés pour la présence de substances inscrites à l'Annexe C, en particulier les PCDD/PCDF. Les produits de la chaîne chlor-alcali jusqu'au chlorure de vinyle ont généralement des niveaux de contamination très faibles de ces substances très faibles; cependant pour ces produits et d'autres la teneur en polluants organiques persistants peut dépendre de l'efficacité de la distillation ou d'autres procédés de purification.

IPEN (2006b) ainsi que les références y contenues donnent des indications sur les PCDD et PCDF résiduels qui peuvent se trouver dans divers produits. Des PCDD/PCDF ont aussi été détectés par Ni *et al.* (2005) dans cinq produits chimiques chlorés, y compris le triclosan. Les teneurs en HCB dans des pesticides sont décrites par Barber, Sweetman and Jones 2005, ainsi que dans les références y contenues. Des solvants chlorés fabriqués par des techniques modernes de purification ont été testés pour la présence de HCB; on a trouvé des teneurs dans la fourchette de quelques µg/kg (parties par milliard): <20 pour le trichloréthylène et <10 pour le perchloréthylène). Des informations similaires se trouvent dans PNUE 2003. Il est évident qu'une bonne étape de purification contribue à garantir de faibles niveaux de contaminants résiduels dans les produits.

3. Procédés alternatifs qui évitent la formation de substances chimiques inscrites à l'Annexe C

3.1 Considérations générales

Dans de nombreux cas il existe des procédés alternatifs pour la fabrication de produits chimiques recherchés. Dans le cas des procédés qui génèrent des produits inscrits à l'Annexe C, il peut exister des procédés alternatifs qui n'en génèrent pas. En conformité avec la Convention et les conseils avancés dans ce document de lignes directrices, ainsi qu'avec les bonnes pratiques des affaires, il est nécessaire de passer en revue des procédés et technologies alternatifs avant de construire de nouvelles installations ou de réhabiliter des unités de production actuelles.

3.2 Dioxyde de titane, procédé au sulfate

Pour le TiO_2 , il existe un procédé commercial alternatif, utilisant de l'acide sulfurique à la place du chlore.

Dans le procédé au sulfate pour le TiO_2 , le minerai est séché, broyé et criblé pour favoriser une bonne sulfatation par l'agitation avec de l'acide sulfurique dans une réaction de digestion exothermique en batch ou en continu. Un bon contrôle des conditions optimise la conversion du TiO_2 en sulfate de titanyle soluble dans l'eau, en utilisant le minimum d'acide. Le gâteau sec de sulfate métallique, de couleur vert-brun, qui en résulte est dissout dans de l'eau ou de l'acide dilué, et la solution est traitée pour assurer que l'on n'obtienne que la forme ferreux de fer dans la solution. On réduit la température de la solution pour éviter une hydrolyse prématurée, puis on la clarifie par sédimentation et floculation chimique. La solution claire est ensuite encore refroidie pour cristalliser un sulfate de fer hepta-hydrate grossier (connu sous le nom de mélangite, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), qui est séparé du procédé et vendu en tant que sous-produit.

La «boue» insoluble est lavée pour récupérer la liqueur de sulfate de titanyle. Ce liquide est filtré pour enlever les dernières impuretés insolubles, puis évaporé vers une composition précise. On procède alors à une hydrolyse pour donner une suspension («pâte») qui est composée principalement d'agglomérats d'oxyde de titane hydraté.

On contrôle soigneusement la précipitation pour atteindre les diamètres de particules recherchés, en utilisant généralement une technique d'ensemencement ou de nucléation. On sépare ensuite la pâte de l'eau-mère et on la lave fortement pour éliminer toutes traces d'impuretés métalliques, à l'aide de chélates si nécessaires. La pâte lavée est traitée avec des produits chimiques qui modifient la texture physique et agissent en tant que catalyseurs pendant l'étape de calcination. Ce procédé peut mener à la forme cristalline anatase ou rutile, suivant les additifs utilisés avant la calcination (site Internet de Millennium Chemical Corporation).

Le procédé au sulfate demande de 2,4 à 3,5 tonnes d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4) par tonne de TiO_2 , en fonction de la matière première utilisée. L'acide sulfurique est rejeté du procédé sous forme de sulfate, surtout comme sulfate de fer (II), ou comme acide sulfurique libre dans les acides usés. Le volume total d'acides usés produit par ce

procédé est d'environ 6 à 9 tonnes par tonne de pigment. La récupération de l'acide sulfurique à partir des acides usés se fait par deux procédés:

- Récupération de l'acide libre par évaporation;
- Décomposition thermique des sulfates et la production de H_2SO_4 sur la base du dioxyde de soufre.

L'acide usé est concentré par évaporation jusqu'à environ 70%, valeur à laquelle le sulfate de fer a une solubilité minimale. L'acide est ensuite refroidi. Après cristallisation des sels, on les sépare de l'acide par filtration. L'acide qui est presque libéré de sels peut être recyclé directement, ou après une concentration supplémentaire. Une autre possibilité est de l'utiliser dans d'autres procédés, ou bien on peut le décomposer en SO_2 .

Les sulfates que l'on a séparés, fortement chargés en acide sulfurique, sont décomposés thermiquement dans des réacteurs à écoulement, à des températures de 800° – $1'000^{\circ}C$ (avec addition de soufre, charbon ou fioul comme combustible) pour donner du dioxyde de soufre et l'oxyde de fer. Après lavage, le dioxyde de soufre obtenu est traité pour donner de l'acide sulfurique pur. L'oxyde de fer peut être réutilisé dans l'industrie du ciment.

Le procédé au chlore ne génère pas d'acides usés, et ceci veut dire que les quantités de déchets produits sont bien plus faibles. Il existe cependant la possibilité de la génération de quelques uns des produits inscrits à l'Annexe C, plus spécifiquement des furanes hautement chlorés (EPA 2006). La production de déchets dans le cas du procédé au sulfate, y compris de l'acide sulfurique et d'autres déchets minéraux, est plus importante, mais il n'y a pas d'indications que ceux-ci comprennent des substances inscrites à l'Annexe C. De chercher à éliminer de petites quantités de tels produits mais en produisant de plus grande quantités d'autres déchets, ne représente peut-être pas l'approche optimale pour l'environnement. Les meilleures techniques disponibles sont peut-être propres à chaque usine et doivent être considérées cas par cas.

4. Mesures primaires et secondaires

4.1 Options de fabrication réduisant les émissions de produits chimiques inscrits à l'Annexe C

Il n'entre pas dans le cadre de ce document d'orientation de fournir des commentaires sur la conception des installations chimiques et des procédés. Cependant, une opération effectuée avec responsabilité impose la reconnaissance du fait que les procédés chimiques, bien que nécessaires à la vie moderne, présentent certains risques. Afin de réduire ces risques autant que possible, les procédés doivent être conçus pour répondre à des normes tenant compte des connaissances techniques actuelles au niveau de la sécurité et de l'environnement; de telles normes sont présentées par exemple dans les BREF de l'Union Européenne et des réglementations comparables aux Etats-Unis et au Japon. Il faut faire appel à des ingénieurs expérimentés dans la conception de procédés chimiques spécifiques.

L'étude de procédé doit tenir compte des possibilités de génération de sous-produits et de déchets, et doit faire des provisions pour leur manipulation ou leur élimination sans danger. Les schémas du procédé ne doivent tenir compte du fait que si dans le cas où le procédé exhibe un potentiel pour former des substances inscrites à l'Annexe C, les quatre flux sortant d'une installation – air, eau, solides et produit final – auront ce même potentiel. L'étude de procédé moderne tient compte de ce potentiel, quantifie sa réalité, prévoit de le contrôler, et inclut des opérations visant à réduire ou à éviter les émissions de ces matériaux, en ligne avec les exigences de la Convention. La gestion moderne de la sécurité comprend des formations poussées pour le personnel ainsi que de l'instrumentation suffisante pour l'analyse et le contrôle, de telle manière que l'ensemble de l'installation réponde aux normes de responsabilité.

Les exigences principales pour une production moderne et sans risques peuvent être énoncées ainsi:

- Mise en œuvre des meilleures techniques disponibles, y compris des technologies haute performance, dans l'étude et la construction des installations;
- Cycles fermés efficaces pour le contrôle de sous-produits et la destruction des déchets et des émissions;
- Gestion efficace des sous-produits et de la manipulation de déchets;
- Installations spéciales pour la destruction des déchets et des émissions sous la responsabilité de l'entreprise elle-même et avec un contrôle externe;
- Un engagement garantissant une norme de 0,1 ng I-TEQ/m³ pour les émissions dans l'air dans la destruction de tout sous-produit, déchets et émissions;²
- Le développement d'un régime bien défini pour le suivi interne et externe des paramètres clefs de l'opération.

4.2 Mesures primaires

4.2.1 Distillation et recyclage interne des sous-produits

On utilise la distillation surtout pour la fabrication de produits ayant une pureté adaptée aux besoins de traitement en aval. Par exemple, le chlorure de vinyle est fabriqué par une oxychloration et est purifié par distillation. Une distillation rigoureuse est utilisée à cause de la possibilité de perturber le procédé de polymérisation en aval par la présence d'impuretés. Des matériaux non saturés qui pourraient agir en tant que co-monomères en compétition pendant la polymérisation, et des matériaux saturés ou aromatiques susceptibles de participer dans des réactions à radicaux libres autre que la polymérisation, peuvent avoir un impact négatif sur les cinétiques de la réaction de polymérisation.

La distillation et la haute pureté sont importantes pour une bonne fabrication. Les systèmes de distillation peuvent être étudiés pour effectuer la séparation de matériaux ayant des points d'ébullition proches, ou très espacés. Les points d'ébullition de produits chimiques fabriqués par chloration directe, et les points d'ébullition des impuretés en compétition permettent de faire une séparation efficace. Leurs points d'ébullition sont

aussi suffisamment loin de ceux des produits inscrits à l'Annexe C cependant, pour qu'il soit possible d'effectuer une séparation virtuellement complète. European Commission 2003 indique que le dichloréthylène ne contient pas de quantités significatives de PCDD/PCDF.

La destruction de sous-produits chlorés permet de récupérer le HCl pour une réutilisation (site Internet Vinnolit). On considère que cette approche peut avoir un impact plus important car de petits changements dans la génération de polluants organiques persistants en amont de la distillation ne se répercutent pas sur la qualité des produits recherchés après la distillation.

La distillation est une technique qui permet de séparer le produit recherché des sous-produits présents par inadvertance; elle est utilisée par toute l'industrie chimique, allant des commodités aux pesticides. Il est relativement simple, en principe, d'adapter la conception et l'opération de l'équipement de distillation. Les sous-produits résiduels dans le produit commercial peuvent être minimisés en adaptant la conception et l'opération de l'appareil de distillation. D'effectuer une séparation complète de produits ayant des points d'ébullition assez proches, comme par exemple ceux du chlorure de vinyle et les divers sous-produits à plus faible masse moléculaire est une question de conception et de construction appropriée, et aussi de coûts opératoires. Des différences dans les concentrations de diverses substances résiduelles dans des produits commerciaux qui sont inscrites à l'Annexe C peuvent être dues à des différences dans la législation locale pour les produits.

4.2.2 Élimination d'électrodes en carbone pour la fabrication chlor-alkali

Des technologies plus anciennes pour la fabrication de chlore et de soude caustique utilisaient des anodes en graphite. Des résidus trouvés dans des cellules de ce type contenaient des quantités significatives de PCDD et plus spécialement des PCDF (UNEP 2003). Ce problème a été résolu dans beaucoup de pays en adoptant une invention qui comprenait l'utilisation d'un revêtement de titane sur les électrodes (H.B. Beer en 1965), puis une substitution pour le graphite dans ces procédés (European Commission 2001). Dans la mesure où la technologie est encore utilisée, on peut dire que l'emploi d'électrodes en graphite n'est pas une meilleure technologie disponible.

4.2.3 Élimination du traitement alcalin du 1,2,4,5-tétrachlorophénol pour la fabrication du 2,4,5-trichlorophénol

La fabrication du 2,4,5-trichlorophénol est effectuée par le traitement alcalin du 1,2,4,5-tétrachlorobenzène. Ce phénol chloré, en présence d'un excès d'alcali, peut générer des quantités significatives de sous-produits comme les tétrachlorodibenzo-*p*-dioxines (TCDD). Ce procédé n'est pas une meilleure technique disponible.

4.2.4 Élimination du phénol dans la fabrication du chloranile

Ce procédé est décrit dans UNEP 2003. Le chloranile (2,3,5,6-tétrachloro-2,5-cyclohexadiène-1,4-dione) est le précurseur pour la fabrication des colorants dioxazine. Lorsqu'on prépare ceux-ci par la chloration du phénol ou de l'aniline avec le chlore élémentaire, des quantités significatives de PCDD/PCDF sont générées comme sous-

produits. Ce procédé n'est pas une meilleure technique disponible. Une chloration d'hydroquinone par le HCl donne un produit bien plus pur.

4.2.5 Fabrication modifiée du pentachlorophénol et du pentachlorophénate de sodium

Les procédés suivants sont aussi décrits par UNEP 2003. Il existe trois procédés commerciaux pour la fabrication du pentachlorophénol: chloration du phénol par le Cl_2 avec un catalyseur, hydrolyse du HCB avec la soude caustique, et thermolyse du HCB. C'est ce premier procédé qui est le plus utilisé aujourd'hui. Le pentachlorophénate de sodium peut être fabriqué par hydrolyse du HCB ou, plus couramment, par le traitement du pentachlorophénol par la soude caustique.

Pour les deux produits, un bon contrôle des conditions de réactions (par ex., température, vitesse d'alimentation en chlore, et pureté des catalyseurs) mène à des diminutions significatives des micro-contaminants PCDD. On a diminué les émissions de ces matériaux aux Etats-Unis d'environ 3–4 mg I-TEQ/kg vers la fin des années '80 à environ 1 mg I-TEQ/kg dans les années depuis 1988 (EPA 2001).

Les installations utilisant des produits fabriqués par les procédés cités ci-dessus devront envisager l'opportunité de mettre en place des mesures secondaires pour leurs unités, en particulier des pratiques d'élimination des déchets utilisant des meilleures techniques disponibles.

4.2.6 L'utilisation d'hydrogène dans l'oxychloration

La pureté des matières premières dans le procédé d'oxychloration peut être un facteur dans la génération de sous-produits, bien que le problème ne concerne en principe que les niveaux faibles de l'acétylène qui est normalement présent dans le HCl venant du craquage du dichloréthylène. Il est possible en théorie que l'acétylène alimentant le réacteur d'oxychloration puisse être converti en produits C_2 hautement chlorés, et que ces derniers puissent mener à la formation de produits aromatiques chlorés par une cyclotrimérisation (site Internet OxyVinyls, les pages: Oxychlorination Technology and Hydrogenation Technology). On effectue souvent une hydrogénation sélective de cet acétylène pour donner de l'éthylène et de l'éthane dans un réacteur juste avant l'oxychloration pour éviter la synthèse de sous-produits, en particulier de produits aliphatiques polychlorés (voir Figure 2).

4.2.7 Entretien des catalyseurs et contrôle de l'uniformité de la température

Les réacteurs à lit fluidisé disposent normalement d'un meilleur contrôle de la température et d'une performance plus régulière, bien qu'il soit possible que le phénomène d'attrition de particules de catalyseur déjà mentionné mène à un entraînement vers d'autres flux du procédé. Dans le cas des catalyseurs utilisés pour l'oxychloration dans les lits fixes, un garnissage et un entretien adéquats peuvent réduire les points chauds et aussi réduire la dégradation du catalyseur, la perte de productivité et le potentiel pour la génération de produits à haute masse moléculaire. Les lits de catalyseurs sont changés régulièrement pour garantir une bonne efficacité.

4.2.8 Réduction des hydrocarbures aromatiques dans les matières premières pour le procédé d'oxychloration

Deux brevets préconisent un prétraitement de l'air ou des réactifs HCl utilisés dans l'oxychloration pour réduire les aromatiques, des précurseurs présumés pour divers polluants organiques persistants (Cowfer, Johnston and Popiel 1998, 2001). Cette technologie brevetée est protégée et de ce fait n'est peut-être pas appropriée pour la mise en œuvre de meilleures technologies disponibles; cela indique quand-même une autre approche de base.

Il faut contrôler les produits alimentant un procédé pour minimiser ou éviter l'introduction de produits organiques, plus élevés en masse moléculaire, ou aromatiques, qui pourraient mener à une formation importante de composés de l'Annexe C. A cause du fait que des résidus de distillation présents dans les flux du dichloréthylène ou de solvants pourraient contenir ces composés, il est nécessaire de les traiter ces résidus de manière appropriée avant de les utiliser pour la fabrication de solvants.

4.3 Mesures secondaires: Meilleures techniques disponibles pour les pratiques de traitement de déchets

Le but d'une distillation ou autre étape de purification est de séparer les produits recherchés des sous-produits, et de concentrer les produits chimiques inscrits à l'Annexe C dans le flux des sous-produits. Il existe un certain nombre de procédés capables de traiter ces flux, dont plusieurs sont décrits dans la Section V.A du présent document. Les méthodes alternatives décrites dans cette section sont peut-être aussi adaptées, dans ce contexte, à la destruction de produits inscrits à l'Annexe C.

5. Résumé des mesures

On peut résumer les mesures pouvant mener à une réduction de produits chimiques inscrits à l'Annexe C générés par certains procédés de fabrication de produits chimiques, de la manière suivante:

- Modifier les procédés pour réduire la génération de produits chimiques inscrits à l'Annexe C;
- Incorporer des étapes qui traitent les impuretés se trouvant dans les matières premières, et appliquer des programmes rigoureux d'entretien opérationnel;
- Purifier les produits par distillation lorsque les propriétés physiques le permettent;
- Recycler à l'intérieur du procédé des sous-produits à haute masse moléculaire générés par inadvertance, ceci comme partie intégrante du procédé;
- Gérer les déchets en prenant pleinement en considération la possibilité de rejets vers l'air, la terre et l'eau de produits chimiques inscrits à l'Annexe C, et éviter toute formation par inadvertance.

6. Normes et mesures de performance

6.1 Normes de performance

Des normes de performance peuvent être fixées à l'échelle locale dans les autorisations pour des installations particulières, et vont varier. Les émissions, en tant que sous-produit, de PCDD/PCDF sont mentionnées dans la Charte du Conseil Européen des Producteurs de Chlorure de Vinyle, et également par l'OSPAR (Oslo and Paris Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic), par la Décision 98/4 et l'adoption and l'adoption des meilleures techniques disponibles par PARCOM (Paris Commission), Recommandation 96/2. Cette norme est de 1 g I-TEQ/tonne de capacité d'oxychloration annuelle pour les rejets vers l'eau. Les limites des émissions dans l'air données par le Charte du Conseil Européen des Producteurs de Chlorure de Vinyle sont de 0,1 ng I-TEQ/Nm³ (site Internet ECVM). Cette limite correspond à la limite réglementaire de l'Union Européenne pour les émissions de PCDD/PCDF des incinérateurs vers l'air.

Dans l'Union Européenne, les exigences qui s'appliquent à l'industrie chimique sont basées sur la Directive du Conseil 69/61/EC sur la prévention et le contrôle intégrées de la pollution. Quatre BREF sur les meilleures techniques disponibles dans les industries des spécialités chimiques organiques et inorganiques de grand volume décrivent les exigences exhaustives pour la gestion écologiquement rationnelle de toutes les installations de l'industrie chimique, y compris les normes pour les émissions des PCDD/PCDF (European Commission 2001, 2003, 2006a, 2006b). Pour toute installation de combustion, ou partie d'une telle installation de l'industrie chimique à l'intérieur de l'Union Européenne, la limite fixée pour l'opération de l'installation est de 0,1 ng I-TEQ/Nm³.

Les émissions dans l'air des incinérateurs au Japon sont réglementées en fonction de la dimension, et suivant qu'ils sont neufs ou remis en état. Les grands incinérateurs nouveaux doivent limiter leurs émissions à moins de 0,1 ng I-TEQ/Nm³. Les émissions vers l'eau de ces procédés sont limitées à 10 pg I-TEQ/L d'effluent. Les limites dans d'autres régions ou pays seront typiquement en ligne avec la réglementation sur les incinérateurs de déchets toxiques en vigueur.

Aux Etats Unis, aussi bien que dans d'autres régions, des réglementations basées sur les meilleures technologies possible de contrôle (Maximum Achievable Control Technology: MACT) ont été proposées pour le contrôle du HCB et pour d'autres émissions toxiques des incinérateurs, des incinérateurs de déchets médicaux, des fours à ciment, et des fours pour les agrégats légers qui brûlent aussi des déchets toxiques.

L'Environmental Protection Agency (EPA) des Etats-Unis réglemente les concentrations maximales de HCB admises comme contaminant dans certains pesticides. Le niveau établi pour les micro-contaminants dans certains pesticides est de l'ordre de 40–50 parties par million. Comme il est noté par Bailey 2001, les vraies teneurs de HCB dans des pesticides pourraient être notablement plus faibles.

Au Canada, comme dans beaucoup de pays, le HCB est une substance interdite. La loi canadienne interdit la fabrication, l'utilisation, la vente ou l'importation du HCB. Ces restrictions ne s'appliquent pas cependant au HCB qui est:

- Un sous-produit occasionnel du procédé de fabrication d'un produit, et qui est présent dans le produit à une concentration qui n'excède pas 20 parties par milliard; ou
- Contenu dans un produit de contrôle (pesticides, herbicides, etc.) dans le sens de la Section 2 de la Loi Canadienne sur les Produits de Contrôle des Parasites.

6.2 Mesures des performances

Celles-ci peuvent inclure de la chimie analytique sur diverses émissions et, dans certains zones, des informations sur les polluants organiques persistants transmises à un registre des rejets et des transferts de polluants, tel que l'Inventaire des Rejets de Produits Toxiques (Toxics Release Inventory) aux Etats Unis (EPA 2006; site Internet CCC).

■ Annexe I. Synthèse des commodités chimiques

Produit chimique	Procédé	Utilisation du procédé	Co-produits
Chlore, soude caustique	$\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{NaOH} + \text{H}_2$	Plus courant	
	Voir European Commission 2001, 2003		
Organiques			
Chlorure d'allyle	Chloration directe du propylène >300°C	Plus courant	HCl
	Pyrolyse du 1,2-dichloropropane	Moins courant	Oléfines chlorés, HCl
Colorant chloranile	voir UNEP 2003		
Chloroprène (2-chloro-1,3-butadiène)	$\text{C}_2\text{H}_2 + \text{CuCl}/\text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow$ vinyle acétylène + HCl \rightarrow chloroprène	Moins courant	
	Phase vapeur: butadiène + $\text{Cl}_2 \rightarrow$ 1,4- & 3,4-dichloro; isomérisé (catalyseur Cu) en 3,4-dichloro; HCl via NaOH; distillé pour séparer les mono-Cl à bas pt. d'ébullition; 3,4-di; 1,4-di; fractions lourdes	Plus courant	NaCl; produits sur-chlorés
Benzènes chlorés	Phase vapeur: benzène + chlore + HCl	Moins courant	Produit mixte
	Phase liquide: $\text{Cl}_2/\text{FeCl}_3$ pour donner un mélange; contrôlé par la quantité de l'agent de chloration (mono); quelques autres procédés spécialisés pour certains isomères; matériaux à haut Cl peuvent précipiter. Purifié par distillation et cristallisation; séparations difficiles	Plus courant	HCl
Épichlorhydrine	Chlorure d'allyle + HOCl (eau au chlore) \rightarrow chlorohydrines glycérols + NaOH/(CaOH) ₂ \rightarrow épichlorhydrine	Plus courant	Produit hydrolysé; polymères
	Stripping à la vapeur puis distillation		
	Aussi: propylène + O ₂ (catalyseur Pd) \rightarrow acétate d'allyle \rightarrow alcool allylique + Cl ₂ \rightarrow chlorure d'allyle		
Désinfectants aux isocyanurates	Acide isocyanurique + NaOH + Cl ₂		
Phosgène	CO + Cl ₂ utilisés presque immédiatement pour donner du polycarbonate et polyuréthanes		
Phénols chlorés	Phénols moins chlorés; phénol + Cl ₂ ; divers catalyseur acide type Lewis; FeCl ₃ , ZnCl ₂	Plus courant	
Pentachlorophénol (PCP)	Phénol + Cl ₂ ; AlCl ₃ comme catalyseur industriel principal; 100°–180°C	Plus courant	HCl
	Hexachlorobenzène (HCB) + NaOH	Moins courant	NaCl

Produit chimique	Procédé	Utilisation du procédé	Co-produits
Pentachlorophénate de sodium	PCP + NaOH	Plus courant	NaCl
	HCB + NaOH	Moins courant	NaCl
Chlorure de vinylidène (ViCl ₂)	1,1,2-trichloréthane + NaOH ou Ca(OH) ₂ ; peut être aussi un co-produit de matériaux C ₂ chlorés à haute température	Plus courant	NaCl ou CaCl ₂
Chlorure de vinyle (VCM)	Acétylène + HCl → chlorure de vinyle; catalyseur Hg	Moins courant	
	Ethylène + Cl ₂ → EDC (direct; catalyseur Fe); HCl + O ₂ + éthylène → EDC (oxychlore; catalyseur Cu)	Plus courant	
	Voir: European Commission 2001, 2003		

Produits C₁

Chlorure de méthyle	CH ₄ + Cl ₂ avec chaleur ou lumière	Plus courant	
	CH ₃ OH + HCl → CH ₃ Cl	Plus courant	
Autres méthanes chlorés	CH ₃ Cl + Cl ₂ chaleur ou lumière → CH ₂ Cl ₂ , CHCl ₃ , CCl ₄	Plus courant	
	CS ₂ + Cl ₂ → S ₂ Cl ₂ + CCl ₄	Moins courant	
	CS ₂ + S ₂ Cl ₂ → S + CCl ₄		

Produits C₂

Ethanes chlorés

1,1-di	VC + HCl/FeCl ₃	Plus courant	
1,2-di (EDC)	Ethylène + Cl ₂ → EDC (cata Fe) (chloration directe)	Plus courant	
	Ethylène + HCl + O ₂ (cata Cu) → EDC (oxychloration)		
1,1,1-tri	1,1-di + Cl ₂ (photochimique)	Plus courant	HCl
	1,1,2-tri → 1,1,1-tri	Plus courant	
	Ethane + Cl ₂	Moins courant	
1,1,2-tri	VC + Cl ₂	Plus courant	
	EDC + Cl ₂	Plus courant	HCl
1,1,1,2-tetra, 1,1,2,2-tetra	EDC + Cl ₂ (peut inclure l'oxychlore)	Plus courant	HCl
	C ₂ H ₂ + Cl ₂		
	C ₂ H ₄ + Cl ₂	Plus courant	HCl
1,1,1,2,2-penta	TCE + Cl ₂ → penta		

Produit chimique	Procédé	Utilisation du procédé	Co-produits
Ethylènes chlorés			
Trichloréthylène (TCE) et perchloréthylène (PCE)	$EDC + Cl_2 \rightarrow TCE + PCE$	Plus courant	HCl
	$EDC + Cl_2 \rightarrow PCE + CCl_4$	Plus courant	HCl
	$2 CCl_4 \rightarrow PCE$	Plus courant	
	$EDC + Cl_2 + O_2 \rightarrow PCE/TCE$	Plus courant	
	Tétrachloroéthanés + chaleur \rightarrow TCE	Plus courant	HCl
	Pentachloréthane + chaleur \rightarrow PCE	Moins courant	HCl
Inorganiques			
HCl	Sous-produits; sel + acide sulfurique; hydrogène + chlore; récupération de la combustion d'organochlorés	Plus courant	
TiO ₂	$C, Cl_2, \text{minerai } TiO_2 \rightarrow TiCl_4 + O_2 \rightarrow TiO_2$	Plus courant	Cl ₂ , à recycler
	$\text{Minerai } TiO_2 + H_2SO_4 \rightarrow Ti(SO_4)_2 \rightarrow TiO_2$	Moins courant	Sulfates
FeCl ₃	Fer ou oxyde de fer + HCl \rightarrow FeCl ₃		
Hypochlorites	Na: $2NaOH + Cl_2 \rightarrow NaOCl$		NaCl
	Ca: $Ca(OH)_2 + 2Cl_2 \rightarrow Ca(OCl)_2$ aussi via NaOCl, utilisé pour faciliter l'élimination de chlorures; récupéré puis séché		CaCl ₂
ZnCl ₂	$Zn + HCl \rightarrow ZnCl_2$		
ClO ₂	Généré à partir de HClO ₂ ou NaClO ₃		

Références

Bailey R.E. 2001. «Global Hexachlorobenzene Emissions.» *Chemosphere* 43:2.

Barber J., Sweetman A. and Jones K. 2005. *Hexachlorobenzene: Sources, Environmental Fate and Risk Characterisation*. Euro Chlor. www.eurochlor.org/upload/documents/document187.pdf; annexes: www.eurochlor.org/upload/documents/document72.pdf

Barber J., Sweetman A., van Wijk D. and Jones K. 2005. «Hexachlorobenzene in the Global Environment: Emissions, Levels, Distribution, Trends and Processes.» *Science of the Total Environment* 349:1–44.

Carroll W.F., Borrelli F.E., Jacobs R.A., Lewis J.W., McCreedy R.L., Tuhovak D.R. and Weston A.F. 1997. «Characterization of Emissions of Dioxins and Furans from Ethylene Dichloride (EDC), Vinyl Chloride (VCM) and Polyvinyl Chloride (PVC) Facilities in the United States: II, Ila Wastewater Treatment Solids and Aqueous Hydrochloric Acid.» *Organohalogen Compd.* 32:447–450.

CCC (Chlorine Chemistry Council). *Total Releases (of PCDD/F) for 2000 and 2001*. www.trifacts.org/table.html.

ChEResources. *Distillation: ChE Links*. www.cheresources.com/l_distillation.shtml.

- Cowfer J.A., Johnston V.J. and Popiel L. 1998. *Method for Reducing Formation of Polychlorinated Aromatic Compounds during Air Oxychlorination of C₁-C₃ Hydrocarbons*. US Patent 5,750,812.
- Cowfer J.A., Johnston V.J. and Popiel L. 2001. *Method for Reducing Formation of Polychlorinated Aromatic Compounds during Oxychlorination of C₁-C₃ Hydrocarbons*. US Patent 6,177,599.
- ECVM (European Council of Vinyl Manufacturers). *Industry Charter for the Production of VCM and PVC*. www.ecvm.org/img/db/SPVCcharter.pdf.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 1997. *Locating and Estimating Air Emissions from Sources of Dioxins and Furans*. EPA-454/R-97-003. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, Office of Air and Radiation, Washington, D.C.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 2001. *Database of Sources of Environmental Releases of Dioxin-Like Compounds in the United States*. EPA, Washington, D.C. www.epa.gov/ncea/dioxindb.htm.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 2006. *TRI Explorer*. EPA, Washington, D.C. www.epa.gov/triexplorer/.
- European Commission. 2001. *Reference Document on Best Available Techniques in the Chlor-Alkali Manufacturing Industry*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es/pages/BActivities.cfm.
- European Commission. 2003. *Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Organic Chemicals Industry*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es/pages/BActivities.cfm.
- European Commission. 2006a. *Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals: Solid and Others*. Draft BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es/pages/BActivities.cfm.
- European Commission. 2006b. *Reference Document on Best Available Techniques for the Production of Speciality Inorganic Chemicals*. Draft BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es/pages/BActivities.cfm.
- Fiedler H., Hutzinger O., Welsch-Paulsch K. and Schmiedinger A. 2000. *Evaluation of the Occurrence of PCDD/PCDF and POPs in Wastes and Their Potential to Enter the Foodchain*. Final Report. Study on behalf of the European Commission, DG Environment. University of Bayreuth.
- IPEN (International POPs Elimination Network). 2006a. *The Spolchemie Chlor-Alkali and Chlorine-Based Chemical Production Plant in Usti nad Labem (Czech Republic): Case Study for Hexachlorobenzene Unintentional Production*.
- IPEN (International POPs Elimination Network). 2006b. *Unintentional POPs in Pesticides*. (www.ipen.org)
- Lenoir D., Wehrmeier A., Sidhu S.S. and Taylor P.H. 2001. «Formation and Inhibition of Chloroaromatic Micropollutants Formed in Incineration Processes.» *Chemosphere* 43:107–114.
- Millennium Chemical Corporation. *Titanium Dioxide Manufacturing Processes*. www.millenniumchem.com/.
- Ni Y., Zang Z., Zang Q., Chen J., Wu Y. and Liang X. 2005. Distribution Patterns of PCDD/Fs in Chlorinated Chemicals. *Chemosphere* 60(6):779-84.
- OxyVinyls. *Direct Chlorination*. www.oxyvinyls.com/tech_licensing/DirectChlorination.html.

OxyVinyls. *Hydrogenation Technology*. www.oxyvinyls.com/tech_licensing/Hydrogenation.html.

OxyVinyls. *Oxychlorination: Fixed Bed Technology*.
www.oxyvinyls.com/tech_licensing/OxyFixedBed.html.

OxyVinyls. *Oxychlorination: Fluid Bed Technology*.
www.oxyvinyls.com/tech_licensing/OxyFluidBed.html.

OxyVinyls. *Oxychlorination Technology*. www.oxyvinyls.com/tech_licensing/Oxychlorination.html.

Randall P.M. 1994. «Pollution Prevention Strategies for Minimization of Industrial Wastes in the VCM-PVC Industry.» *Environmental Progress* 13:269–277.

Rippen G. and Frank R. 1986. «Estimation of Hexachlorobenzene Pathways from the Technosphere into the Environment.» In: *Hexachlorobenzene: Proceedings of an International Symposium, Lyon* (eds. Morris C.R. and Cabral J.R.P.) IARC Scientific Publication No. 77. International Agency for Research on Cancer.

UK Environment Agency. 1997. *A Review of Dioxin Releases to Land and Water in the UK*. Research and Development Publication 3. Environment Agency, Bristol, United Kingdom.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2003. *Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases*. UNEP, Geneva.
www.pops.int/documents/guidance/Toolkit_2003.pdf.

Vinnolit. *VinTec By-product Recovery Process*. www.vinnolit.de/lizenz/recover.htm.

Vinnolit. *VinTec EDC Oxychlorination Process*. www.vinnolit.de/lizenz/oxy.htm.

Wiley Interscience. 2000. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. 4th Edition. John Wiley and Sons, New York.

World Chlorine Council. 2002. *Products of the Chlorine Tree*.
worldchlorine.com/publications/pdf/chlorine.pdf.

Notes

¹ Pour des informations sur les mesures de toxicité, voir la Section I.C, sous-section 3 du présent document

² 1 ng (nanogramme) = 1×10^{-12} kilogramme (1×10^{-9} gramme); Nm³ = mètre cube normal, volume de gaz sec mesuré à 0°C et 101,3 kPa. Pour des informations sur les mesures de toxicité, voir la Section I.C, sous-section 3 du présent document



<http://www.pops.int>

UNEP/SSC/BATBEP/2008/11

Section V.IV Section V.A Section V.B Section V.C Section V.D Section V.E Section V.F Section V.G Section V.H Section V.I Section V.II Section V.IK Section V.LL Section V.LM

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

Les fours crématoires



Le contenu de cette publication peut être reproduit à des fins éducatives ou sans but lucratif, dans son intégralité ou en partie, quelque soit le format, sans autre permission spéciale, pourvu que la source soit parfaitement identifiée. Le Secrétariat de la Convention de Stockholm et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) souhaiteraient recevoir une copie de tout ouvrage utilisant cette publication comme référence. Cette publication ne peut faire l'objet de revente ou toute autre activité commerciale sans l'accord préalable et par écrit du PNUE.

Publiée par le Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en octobre 2008. Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser au:

Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Genève, Suisse
ssc@pops.int - www.pops.int

Mise en page et impression par: SRO-Kundig - Genève

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

T A B L E D E S M A T I È R E S

SECTION I: INTRODUCTION

- I.A** OBJECTIF
- I.B** STRUCTURE DU DOCUMENT ET UTILISATION DES DIRECTIVES ET CONSEILS
- I.C** PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C: DÉFINITIONS, RISQUES, TOXICITÉ
- I.D** ARTICLE 5 ET L'ANNEXE C DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- I.E** LIEN AVEC LA CONVENTION DE BÂLE
- I.F** LIEN AVEC D'AUTRES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

SECTION II: CONSIDÉRATIONS D'ALTERNATIVES DANS L'APPLICATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

- II.A** CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES DANS LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- II.B** LA CONVENTION DE STOCKHOLM ET LES SOURCES NOUVELLES
- II.C** UNE APPROCHE À LA CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES
- II.D** AUTRES CONSIDÉRATIONS DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM

SECTION III: MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES: DIRECTIVES, PRINCIPES ET CONSIDÉRATIONS CROISÉES

- III.A** DIRECTIVES
- III.B** PRINCIPES ET APPROCHES GÉNÉRAUX
- III.C** CONSIDÉRATIONS CROISÉES:
 - (i) PRODUITS CHIMIQUES DE L'ANNEXE C: MÉCANISMES DE FORMATION
 - (ii) CONSIDÉRATIONS SUR LA GESTION DES DÉCHETS
 - (iii) EFFETS BÉNÉFIQUES ADDITIONNELS DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LES PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C
 - (iv) GESTION DES GAZ DE PROCÉDÉ ET D'AUTRES RÉSIDUS
 - (v) FORMATION DES DÉCIDEURS ET DU PERSONNEL TECHNIQUE
 - (vi) MESURES, SUIVI ET PRÉSENTATIONS DES RAPPORTS

SECTION IV: COMPILATION DES RÉSUMÉS DES CATÉGORIES DES SOURCES INCLUSES DANS LES SECTIONS V ET VI

RESUMES DE LA SECTION V: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

RESUMES DE LA SECTION VI: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

SECTION V: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DE SOURCES: CATEGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

- V.A** LES INCINÉRATEURS DE DÉCHETS
- (i) DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, DÉCHETS DANGEREUX ET DE BOUES D'ÉPURATION
 - (ii) DECHET MEDICAUX
- V.B** LE BRULAGE DE DÉCHETS DANGEREUX DANS LES FOURS A CIMENT
- V.C** LA PRODUCTION DE PÂTE À PAPIER UTILISANT LE CHLORE ÉLÉMENTAIRE, OU DES SUBSTANCES CHIMIQUES GÉNÉRANT DU CHLORE ÉLÉMENTAIRE
- V.D** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
- (i) PRODUCTION DU CUIVRE SECONDAIRE
 - (ii) USINES DE FRITTAGE DANS L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER
 - (iii) PRODUCTION D'ALUMINIUM SECONDAIRE
 - (iv) PRODUCTION DU ZINC SECONDAIRE

SECTION VI: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DES SOURCES: CATÉGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

- VI.A** LA COMBUSTION À CIEL OUVERT DE DÉCHETS, Y COMPRIS DANS LES DÉCHARGES
- VI.B** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE AUTRES QUE CEUX MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE C PARTIE II
- (i) PRODUCTION DU PLOMB SECONDAIRE
 - (ii) PRODUCTION D'ALUMINIUM PRIMAIRE
 - (iii) PRODUCTION DE MAGNESIUM
 - (iv) PRODUCTION D'ACIER SECONDAIRE
 - (v) PREMIERE FUSION DES METAUX DE BASE

VI.C	LES SOURCES DE COMBUSTION RÉSIDENTIELLES
VI.D	LA COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES DANS DES CHAUDIÈRES DE CENTRALES ET LES CHAUDIÈRES INDUSTRIELLES
VI.E	LES INSTALLATIONS DE BRÛLAGE DE BOIS ET DE COMBUSTIBLES ISSUS DE LA BIOMASSE
VI.F	LES PROCÉDÉS SPÉCIFIQUES DE PRODUCTION DE SUBSTANCES CHIMIQUES ENTRAÎNANT DES REJETS DE SUBSTANCES INSCRITES À L'ANNEXE C
VI.G	LES FOURS CRÉMATOIRES
VI.H	LES VÉHICULES À MOTEUR, NOTAMMENT CEUX UTILISANT DE L'ESSENCE AU PLOMB
VI.I	LA DESTRUCTION DE CARCASSES D'ANIMAUX
VI.J	LA TEINTURE DE TEXTILES OU DU CUIR (AU CHLORANILE) ET LA FINITION (EXTRACTION ALCALINE)
VI.K	LES INSTALLATIONS DE BROYAGE DES ÉPAVES DE VÉHICULES
VI.L	LE CHAUFFAGE LENT DE CÂBLES EN CUIVRE
VI.M	LES RAFFINERIES D'HUILES USÉES

Section VI.G

**Directives/conseils par catégorie des sources:
Catégories des sources dans la Partie III de l'Annexe C**

Partie III Catégorie de source (g): Les fours crématoires

T A B L E D E S M A T I È R E S

VI.G Les fours crématoires	9
1. Description du procédé	9
2. Les sources des composés chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm.....	11
2.1 Information générale sur les émissions des crématoires.....	11
2.2 Les émissions des PCDD/PCDF dans l'air.....	11
2.3 Les rejets vers d'autres milieux	12
3. Les procédés conseillés	12
3.1 Vue d'ensemble	12
3.2 Les meilleures techniques disponibles.....	13
3.3 Les meilleures pratiques environnementales	14
4. Les mesures primaires et secondaires.....	14
4.1 Les mesures primaires	14
4.2 Les mesures secondaires	16
5. Résumé des mesures	17
6. Niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles et meilleures pratiques environnementales	20
Références	20
Tableaux	
Tableau 1. Mesures concernant les procédés recommandés pour les crématoires.....	17
Tableau 2. Résumé des mesures primaires et secondaires pour les crématoires	18
Figures	
Figure 1. Schéma d'un procédé-type de crémation	10

■ Résumé

Des temps anciens jusqu'à nos jours, la crémation a représenté une pratique importante sur le plan religieux et culturel, acceptée par de nombreuses cultures et pays comme une méthode de traiter le problème de la mort des êtres humains. Dans de nombreux cas, la crémation fait partie intégrale des pratiques religieuses et funéraires d'un pays ou culture particulier; dans d'autres, c'est une alternative volontaire à l'enterrement. Ces directives ne visent pas à redéfinir ces pratiques, ni à réduire leur importance pour les peuples concernés. Pour les pays où la crémation est pratiquée, et selon les dispositions de la Convention de Stockholm, ces directives cherchent à fournir des approches qui minimisent ou évitent la formation et le rejet des substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention pendant le processus de crémation.

La formation et le rejet de PCDD, PCDF, HCB et PCB des crématoires sont possibles à cause de la présence de produits chlorés, des précurseurs et du chlore dans les cadavres et aussi dans des plastiques qui sont incinérés en même temps. Des mesures visant à réduire la formation et le rejet des produits dans la liste de l'Annexe C impliqueraient d'éviter de brûler des matériaux chlorés, ainsi qu'une conception de fours crématoires pour donner une température dans le four de 850°C, un temps de résidence de 2 secondes pour les gaz de combustion, et suffisamment d'air pour assurer la combustion. De nouveaux fours crématoires plus grands devraient aussi être équipés de dispositifs de contrôle de la pollution de l'air pour minimiser les émissions de dioxyde de soufre, de gaz chlorhydrique, de monoxyde de carbone, de composés organiques volatiles, des particules et de polluants organiques persistants. Des niveaux de performance de <0.1 ng TEQ/Nm³ pour les émissions de PCDD/PCDF dans l'air sont associés aux meilleures techniques disponibles.

1. Description de procédé

La crémation consiste en l'élimination d'un cadavre par un processus d'incinération. Cela peut se faire soit d'une manière non contrôlée, avec brûlage à l'air libre sur des bûchers funéraires, ou d'une manière contrôlée dans un incinérateur placé à l'intérieur d'un crématoire. Pour les besoins de ce document, seules les installations de crémation seront prises en considération par rapport à la prévention de rejet de polluants organiques persistants, et non pas l'incinération à l'air libre ou les alternatives sans combustion. Il est à noter cependant que dans certains pays des pratiques culturelles et sociétales peuvent dicter le type de processus disponible pour l'élimination des corps. Une appréciation correcte de ces questions est donc importante.

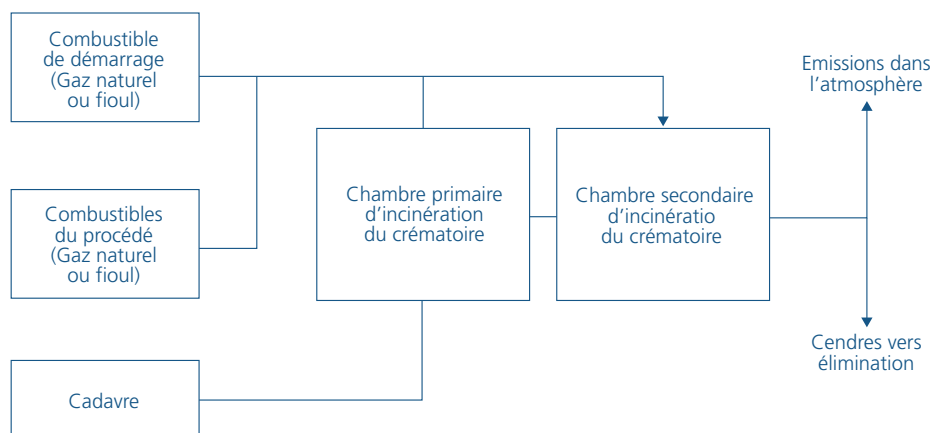
Les unités d'incinération consistent normalement en deux chambres de combustion principales (Figure 1). Dans la première, ou chambre primaire, se trouve le foyer sur lequel sera placé le cercueil. Il sera alimenté avec un courant d'air forcé et équipé d'un ou deux brûleurs complémentaires (typiquement de l'ordre de 200–300 kW). Ceux-ci sont généralement au gaz, bien que dans certaines régions ils pourraient être alimentés

au fuel. Il existe aussi quelques incinérateurs de fours crématoires électriques. Les chambres primaires font entre 1,5 et 2,5 m³. L'incinération du cercueil et du cadavre a lieu dans le foyer fixe et les gaz de combustion, les produits d'une combustion incomplète, et les particules qui sont entraînées dans le procédé, sont ensuite réinjectés dans la chambre de combustion secondaire.

Il est possible, dans la chambre secondaire, d'injecter encore de l'air de combustion, et un système de post-combustion permet de rendre la combustion complète. La chambre secondaire est utilisée parfois pour assurer un préchauffage de l'air de combustion pour la chambre primaire.

Les gaz de combustion sont éjectés de l'incinérateur par un ventilateur d'air ou par un système d'éjection à tuyère venturi. Peu de pays exigent un équipement de contrôle de l'air en aval de l'incinérateur, mais lorsque celui-ci existe le système utilise souvent une injection à sec suivie d'une filtration. Dans ces cas, un adsorbant approprié, par exemple un mélange de chaux en poudre et de charbon actif, est injecté dans le flux de gaz refroidi; un système de filtre à manche haute performance extrait ensuite la poudre injectée ainsi que les particules qui auront été entraînées. Au Royaume Uni, par exemple, les nouveaux fours crématoires et certains existants doivent être équipés de tels systèmes d'adsorption pour le contrôle d'émissions de mercure, ce qui aura l'avantage accessoire de contrôler les émissions de dioxine.

■ **Figure 1. Schéma d'un procédé type de crémation**



De nombreuses installations à travers le monde sont équipées de fours crématoires d'une configuration plus ancienne avec de petites chambres de combustion secondaire ayant des temps de résidence courts, et dans certains cas sans système de post-combustion. Les fours crématoires plus anciens fonctionnent souvent manuellement, l'opérateur fixant lui-même le temps de combustion et la répartition de l'air.

La crémation est une pratique importante sur les plans religieux et culturel, acceptée par de nombreuses cultures et pays comme une méthode de traiter le problème de la mort des êtres humains. Dans beaucoup de cas, la crémation est une partie intégrale des pratiques funéraires et religieuses d'un pays ou d'une culture particulière; dans d'autres, c'est une alternative volontaire à l'enterrement. Il est impératif de se rappeler que toute discussion sur la conception et l'opération des crématoires doit tenir compte du fait que le procédé concerne l'élimination de restes humains. Pour cette raison, de telles

discussions doivent rester dignes, avec une bonne compréhension des rapports parfois conflictuels entre les besoins sociaux et culturels et les désirs environnementaux.

2. Les sources des composés chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm

La formation et l'émission de dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD), de dibenzofuranes polychlorés (PCDF), de polychlorobiphényles (PCB) et de l'hexachlorobenzène (HCB) dans les crématoires est possible à cause de la présence de ces matériaux, de précurseurs et du chlore, présents dans les cadavres et éventuellement dans des plastiques qui seront brûlés en même temps (par exemple, des habillages de cercueil qui ne sont plus utilisés dans certains pays). Cependant, bien que des mesures de PCDD/PCDF aient été effectuées dans les crématoires, il n'existe que peu de données pour les émissions de PCB et de HCB. En conséquence, les niveaux des émissions de PCB et de HCB sont bien plus incertains que les émissions de PCDD/PCDF de telles sources.

2.1 Information générale sur les émissions des crématoires

Les émissions dans l'air sont composées d'oxydes d'azote (NOx), de monoxyde de carbone (CO), de dioxyde de soufre (SO₂), de poussières, de composés métalliques, de composés organiques et de PCDD/PCDF.

Comme il est indiqué ci-dessus, quelques unités de crémation peuvent disposer d'équipements de contrôle de la pollution de l'air, par exemple, par injection de chaux et de charbon actif, et filtration sur tissu. Cependant, la plupart est équipée de contrôles de pollution allant d'un système minimal (par exemple, une chambre de combustion et cheminée) jusqu'aux systèmes améliorés avec des chambres de combustion secondaires et une post-combustion.

2.2 Emissions des PCDD/PCDF dans l'air

Les PCDD/PCDF se forment à la suite d'une combustion incomplète ou d'une synthèse *de novo* lorsque des matériaux organiques et chlorés sont présents dans les matières entrant ou dans la matrice des gaz de combustion.

Bien que l'on suppose que les PCDD/PCDF, PCB et HCB seront détruits à haute température (supérieure à 850°C) en présence d'oxygène, le procédé *de novo* de synthèse des PCDD/PCDF est encore possible si les gaz de combustion sont refroidis sur une période prolongée pendant la fenêtre de température de re-formation (entre 200° et 400°C). Cette fenêtre peut exister dans les systèmes de traitement des gaz, dans des équipements de récupération d'énergie et dans les parties plus froides du four, par exemple dans la région d'introduction des matières premières. On fera attention généralement dans la conception des systèmes de refroidissement afin de réduire le temps de résidence dans la fenêtre de re-formation pour empêcher la synthèse *de novo*.

Dans beaucoup de pays, l'équipement de crémation est souvent installé dans de vieux bâtiments qui n'ont pas été construits pour cette activité. Il peut donc y avoir des tuyauteries parfois assez longues et horizontales, qui fonctionnent à ces températures à

l'intérieur de la fenêtre de reformation. Dans de tels systèmes il peut avoir des dépôts de particules qui contiennent souvent des précurseurs adsorbés, ce qui renforce la possibilité de réactions de re-formation.

Au Royaume-Uni, par exemple, on exige que les fours crématoires atteignent des limites de concentration de PCDD/PCDF dans les émissions, de moins de 0,1 ng TEQ/m³ normalisé à 11% d'oxygène, sec et à température et pression normales (0° C, 101,3 kPa)¹. Cependant il n'est pas nécessaire de démontrer que ces valeurs aient été atteintes; il suffit de respecter les conditions imposées pour les techniques de combustion dans la chambre secondaire: temps de résidence minimal, température et concentration d'oxygène.

Lors de discussions au sujet des modifications possibles aux directives règlementaires, un examen des émissions de quelques crématoires typiques a été effectué. Les tests ont donné des valeurs pour les concentrations des PCDD/PCDF situés entre 0,01 et 0,12 ng I-TEQ/m³, et des concentrations de PCB faibles, bien que la question de la limite des niveaux de détection ait joué un rôle important dans les estimations de rejets.

2.3 Rejets vers d'autres milieux

En raison de la nature du procédé, les cendres sont un produit éthique, et souvent ne font pas l'objet de contrôle quelconque; l'épandage des cendres sur l'eau est une voie potentielle de rejet. Cependant il peut aussi avoir d'autres dépôts dans la chambre de crémation et dans les tuyauteries des gaz qui sont éliminés pendant les opérations de maintenance. Au Royaume Uni, de tels matériaux sont enfouis profondément à l'intérieur du centre de crémation (de la même manière que les métaux récupérés du foyer et des cendres). Une courte étude a été entreprise pour le compte de la British Cremation Authorities et la Cremation Society of Great Britain, sur les niveaux de PCDD/PCDF dans les cendres (Edwards 2001). On a considéré que les niveaux trouvés dans les cendres étaient suffisamment faibles par rapport au risque potentiel d'exposition.

3. Procédés conseillés

3.1 Vue d'ensemble

Les fours crématoires devraient être conçus pour répondre aux exigences d'une température de four de 850° C, d'un temps de résidence de 2 secondes pour les gaz de combustion, et d'une suffisance en oxygène pour assurer une combustion correcte. On devrait décourager l'utilisation de systèmes qui ne répondent pas à ces critères, à moins que l'on puisse démontrer qu'ils sont capables de fonctionner sans émission significative de polluants organiques persistants.

De plus grandes installations, telles que celles qui sont soumises à la Directive Prévention et Contrôle Intégrées de la Pollution dans l'Union Européenne, pourraient aussi avoir des exigences importantes à respecter pour le contrôle de la pollution de l'air, afin de respecter d'autres exigences concernant les émissions d'autres produits chimiques. Celles-ci peuvent concerner, par exemple, la réduction sélective non catalytique pour le

contrôle du NO_x, l'injection de chaux pour le contrôle de gaz acides (SO₂ et HCl), l'injection de carbone pour le contrôle du mercure et des PCDD/PCDF et la filtration sur tissu pour contrôler les particules.

3.2 Meilleures techniques disponibles

Les meilleures techniques disponibles sont celles qui considèrent à la fois la technologie et la gestion. Le contrôle des polluants organiques persistants comporterait les éléments et considérations suivants:

- Un four crématoire répondant aux exigences de température minimale, de temps de résidence et de besoins en oxygène, et ayant été contrôlé pour être conforme à ces exigences;
- Equipement approprié de contrôle de la pollution de l'air (pour le contrôle des polluants organiques persistants, ceci devrait comprendre la gestion de la température pour contrôler le temps de résidence dans la fenêtre de reformation, injection de carbone et filtration sur tissu ou équivalent), ainsi qu'un enterrement approprié sur le plan culturel et environnemental de tous matériaux collectés;
- Les chambres de combustion et les enceintes devraient être aussi étanches que possible, et fonctionner à pression réduite pour minimiser le rejet de gaz des fours;
- Les températures des gaz devraient être suivies pour permettre aux systèmes de contrôle de respecter les critères de température minimale (par l'utilisation de brûleurs d'appoint) et de fournir la possibilité de couper l'alimentation des matières si la température tombe en dessous d'une valeur minimale;
- Les niveaux d'oxygène et de monoxyde de carbone dans les gaz devraient être suivis et reliés au système de contrôle afin d'assurer un contrôle adéquat des arrivées d'air et de gérer tout problème de combustion;
- Systèmes mécanisés pour le chargement et la manutention de cercueil afin de minimiser l'exposition des opérateurs;
- Installations réfrigérées de stockage de cercueils, fermées à clef, et rendues résistantes aux rongeurs et aux oiseaux; aussi disposer d'un système de contrôle d'odeur;
- Les cercueils et leurs habillages devraient être fabriqués de matériaux combustibles. Eviter l'utilisation, ou l'inclusion, d'articles contenant du PVC, des métaux et autres produits chlorés;
- Des systèmes efficaces de contrôle de procédé, d'inspection et d'entretien préventif des composants dont la défaillance pourrait avoir un impact sur l'environnement en laissant échapper des polluants organiques persistants;
- Les compétences des opérateurs sont à identifier et à entretenir par une formation appropriée;

- L'application de valeurs limites pour les émissions, et suivi des émissions pour démontrer la conformité en ce qui concerne les polluants organiques persistants.
- Les meilleures techniques disponibles pour les autres polluants n'ont pas été prises en compte et il faut noter que d'autres facteurs auront aussi un impact sur la définition des meilleures techniques disponibles pour une installation (par exemple, considérations sur l'utilisation d'eau et d'énergie).

3.3 Meilleures pratiques environnementales

Pour les meilleures pratiques environnementales, les pays devront viser dans un premier temps de développer des installations qui sont capables de répondre aux critères concernant la température minimale du four, le temps de résidence, et l'oxygène. Il faut noter qu'il sera peut-être nécessaire de disposer d'équipements pour le contrôle de la pollution de l'air afin de pouvoir respecter la réglementation locale sur les émissions et la qualité de l'air pour les polluants autres que les polluants organiques persistants.

Dans le cas où on a installé un équipement de contrôle de la pollution de l'air, il faudra que la conception d'un tel équipement tienne compte du risque d'une formation *de novo* de PCDD/PCDF en minimisant le temps de résidence des matières dans la fenêtre de température de re-formation. Il faudra démontrer que les émissions de telles installations ne contiennent pas de polluants organiques persistants à l'aide de mesures effectuées avant la mise en service.

4. Mesures primaires et secondaires

4.1 Les mesures primaires

Les mesures primaires sont considérées comme des techniques de prévention de pollution permettant la réduction ou l'empêchement de la production et du rejet de polluant organiques persistants. Des mesures possibles peuvent comprendre les éléments suivants.

4.1.1 Conception du four crématore

Le four crématore devrait pouvoir assurer des conditions par lesquelles une température minimale de 850° C peut être maintenue pendant le chargement, la combustion, et la récupération des cendres du cercueil et du corps avec un temps de résidence du gaz de 2 secondes et avec suffisamment d'oxygène pour assurer la destruction de tous polluants résiduels.

Une chambre de combustion secondaire équipée de post-combustion ou bien d'injection d'air sera nécessaire pour répondre à ces critères. On fera particulièrement attention d'adopter une dimension suffisante pour la chambre secondaire et par rapport au volume de qualification (la volume en aval de la dernière injection de fuel ou d'air de combustion, et avec une température minimale de gaz de 850° C à travers tout le volume. On souligne le fait qu'il est important d'éviter le refroidissement des flots de flux à des températures se situant dans la fourchette de la réaction de réformation.

Il est reconnu que la récupération des cendres à 850°C sera difficile pour des crématoires petits et non mécanisés.

4.1.2 Pré-préparation à la crémation

La présence de PVC, de métaux et d'autres contaminants (en particulier les produits contenant du chlore) dans les matériaux du cercueil et de l'habillement devrait être évitée afin de réduire la génération de polluants organiques persistants pendant une combustion incomplète ou par une synthèse *de novo*. Un choix correct de matériaux peut permettre de contrôler de manière efficace les émissions de polluants.

De manière similaire, il conviendrait d'éviter de placer des objets personnels dans le cercueil, ou que cela soit toléré selon des directives restrictives visant à décourager le placement d'objets dans le cercueil qui aurait pour effet d'augmenter de risque de génération de polluants organiques persistants. Le personnel des crématoires peut fournir des conseils concernant (par exemple) les prothèses médicales, et les objets de valeur sentimentale (Australasian Cemeteries and Crematoria Associations 2004).

4.1.3 Combustibles

Il faut minimiser l'utilisation de combustibles dérivés de déchets ou d'autres combustibles potentiellement contaminés par des polluants organiques persistants, et de tels combustibles ne devraient pas être utilisés pendant la période de mise en marche lorsque les températures sont inférieures à 850° C et des conditions instables peuvent régner. Les installations plus grandes devraient viser à une combustion auto-entretenu dans le four pour minimiser la consommation de combustible.

4.1.4 Contrôle effectif de la combustion

Il existe trois principes qui sont à la base d'un bon contrôle de la combustion dans les crématoires:

- Le maintien de la température à l'entrée et à la sortie de la chambre secondaire au-dessus de 850°C;
- Le maintien de la concentration d'oxygène (et donc de l'excès de l'air) à l'intérieur de la chambre secondaire, à plus de 6% en volume;
- Le maintien des gaz dans la chambre secondaire pendant 2 secondes au moins;

4.1.5 Contrôle effectif du procédé

Des systèmes de contrôle du procédé devraient être utilisés pour assurer la stabilité du procédé, et pour permettre le fonctionnement à des valeurs des paramètres qui contribueront à minimiser la formation de polluants organiques persistants; par exemple, en tenant la température du four au-dessus de 850°C. On suivra de manière continue des variables telles que la température, le temps de résidence, et les niveaux de CO, de composés organiques volatiles et d'autres composants de la phase gazeuses, et on assurera la valeur des paramètres afin de toujours être dans des conditions optimales de fonctionnement.

4.1.6 Compétence des opérateurs

La gestion de l'installation est la clef pour assurer une opération en toute sécurité et qui sera sans impact sur l'environnement. Toute personne participant au fonctionnement de l'installation devra comprendre parfaitement son travail et obligations, en particulier en ce qui concerne l'opération de routine, l'entretien, les facteurs pouvant affecter de manière négative les conditions du procédé, et la réglementation locale touchant à l'environnement. La compétence des opérateurs sera maintenue par une formation appropriée à un niveau adapté à celui de l'installation.

4.2 Mesures secondaires

Les mesures secondaires sont des techniques de contrôle de la pollution. Ces méthodes n'empêchent pas la génération de contaminants mais peuvent servir pour limiter et éviter les émissions.

4.2.1 Récupération des fumées et des gaz

Les émissions vers l'air devront à tout moment du procédé être surveillées: manutention des matériaux, la combustion, et les points de transfert des matériaux, ceci afin de contrôler les émissions de polluants organiques persistants. Des fours scellés sont essentiels pour retenir les émissions fugitives tout en permettant la récupération de la chaleur et des effluents gazeux pour être traités ou rejetés. Les hottes et les réseaux de distribution des gaz doivent être bien conçues afin de réduire les émanations fugitives.

4.2.2 L'équipement de contrôle de la pollution de l'air

Les installations importantes devront utiliser toute une gamme d'équipement de contrôle de l'air pour permettre le contrôle de toute émission significative dans l'atmosphère. Les émissions de polluants organiques persistants seront en général aussi réduites par la sélection, la conception et l'utilisation soignées de l'équipement de contrôle de la pollution de l'air visant d'autres polluants. La structure de l'équipement doit tenir compte de la possibilité de formation *de novo* de certains polluants organiques persistants, et doit minimiser le potentiel de telles formations. Les particules devront être éliminées afin de réduire les émissions de PCDD/PCDF vers l'atmosphère (mais elles seront envoyées en décharge). Les filtres en tissu sont une technique efficace mais fonctionnent essentiellement à basse température (jusqu'à 200° C).

Les opérations de contrôle de la pollution de l'air devront être suivies en continu par des dispositifs capables de détecter des défaillances. D'autres développements comprennent des méthodes de lavage en ligne et l'utilisation de revêtements catalytiques pour détruire les PCDD/PCDF.

Un traitement au charbon actif peut être considéré pour l'élimination de polluants organiques persistants dans les effluents gazeux. Le charbon actif possède une grande surface spécifique sur laquelle les PCDD/PCDF peuvent être adsorbés. Les effluents gazeux peuvent être traités au charbon actif utilisant un réacteur à lit fixe ou fluidisé, ou en injectant du charbon actif sous forme de poudre dans le flux de gaz, puis en les enlevant en tant que poussières à l'aide de systèmes de nettoyage des poussières tels que les filtres en tissu.

5. Résumé des mesures

Les Tableaux 1 et 2 résument les mesures présentées dans les sections précédentes.

■ **Tableau 1. Mesures concernant les procédés recommandés pour les crématoires**

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Procédés recommandés	Grandes et nouvelles installations dans les pays développés	Minimum 850°C, temps de résidence de 2 secondes dans le volume qualifiant avec suffisamment d'air pour assurer la destruction des polluants organiques persistants. Mis en place d'équipement pour réduire les émissions de SO ₂ , HCl, CO, des composés organiques volatils, des particules et des polluants organiques persistants	Celles-ci sont considérés comme étant les meilleures techniques disponibles. Aussi nécessaires: systèmes de gestion en place, démonstration que l'installation satisfait aux valeurs limites d'émission, et surveillance régulière pour assurer la conformité
	Petites installations	Minimum 850°C, temps de résidence de 2 secondes dans le volume qualifiant avec suffisamment d'air pour assurer la destruction des polluants organiques persistants.	Pour de plus petites installations, ces conditions devraient être minimales pour répondre à la problématique des composés organiques persistants. Pourraient être adoptées selon un mécanisme -type d'autorisation et d'inspection de la gestion de l'installation (plutôt que des tests coûteux d'émissions)

■ **Tableau 2. Résumé des mesures primaires et secondaires pour les crématoires**

Mesures	Description	Considérations	Autres commentaires
Mesures primaires			
Conception du four			Meilleur endroit pour optimiser la destruction des polluants organiques persistants et réduire leur formation
Première préparation pour la crémation	La présence de plastics, métaux et de composés chlorés dans les matériaux du cercueil et l'habillement devrait être évitée pour réduire la génération de polluants organiques persistants durant une combustion incomplète ou par synthèse <i>de novo</i>	Elimination des plastics chlorés	Technologie assez basse, mais a été mise en œuvre avec succès dans le Royaume-Uni
Combustible	Combustibles d'appoint propres		
Contrôle effectif de combustion	Des conditions techniques de combustion pour remplir les exigences minimales de température, d'oxygène et de temps de résidence	De bons résultats de combustion à partir de 850°C, 6% O ₂ et un temps de résidence de 2 secondes	La conception doit se fonder sur de bons principes et des techniques de contrôle simples pour répondre aux exigences
Contrôle effectif du procédé	Des systèmes de contrôle du procédé devraient être utilisés pour maintenir la stabilité du procédé et pour fonctionner à des niveaux de paramètres qui contribuent à la minimisation des émissions de composés organiques persistants	Les émissions de PCDD/PCDF peuvent être réduites par le contrôle des autres variables telles la température, le temps de résidence, les composants gazeux	L'utilisation de la température est un paramètre de contrôle assez basique. La suivi de l'oxygène, du CO et des composés organiques volatiles est plus complexe mais assez facile à mettre en œuvre. Cependant, la problématique principale est le maintien d'un système de contrôle capable d'utiliser les données en temps réel pour contrôler les clapets d'introduction de l'air de combustion, les brûleurs auxiliaires, et autres outils de contrôle

Mesures	Description	Considérations	Autres commentaires
Formation des opérateurs			par ex.: le Programme de Formation des techniciens de Crématoire, en cours au Royaume-Uni

Mesures secondaires

La collecte des gaz et fumées	La rétention effective des gaz du four dans toute condition du procédé de crémation pour éviter les fuites fugitives	Les procédés à prendre en considération sont les fours scellés pour retenir les émissions fugitives tout en permettant la récupération de chaleur et la collecte des gaz sortants	
L'équipement de contrôle de la pollution de l'air	<p>La réduction des particules contribuera à réduire les émissions potentielles de polluants organiques persistants.</p> <p>Le traitement au charbon actif devrait être envisagé vu le fait que ce matériau possède une grande surface sur laquelle les PCDD/PCDF peuvent être séparés par adsorption des gaz sortant.</p>	<p>Un système de filtration est le moyen de réduction des particules le plus efficace et fonctionne par l'utilisation de adsorbants secs/semi-secs pour les gaz acides ou le contrôle des métaux. Cependant, cela exigera une réduction de température.</p> <p>L'injection de poudre de charbon actif dans le flux de gaz suivi de son élimination comme poussière de filtre.</p>	<p>L'utilisation d'outils de contrôle de la pollution de l'air génère des flux de déchets additionnels et nécessite des produits supplémentaires. Besoin probable de réduire la température des gaz (afin d'éviter l'utilisation de milieux de filtration plus inhabituels), en conséquence, soin demandé pour minimiser le temps de résidence dans la fenêtre de réformation.</p> <p>Il vaut mieux éviter la formation de polluants organiques persistants dans le four. Cependant, cette approche donne une solution de repli dans le cas de problèmes de fonctionnement du procédé; considérée comme une meilleure technique disponible en Europe pour les procédés d'incinération.</p>

6. Niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles et meilleures pratiques environnementales

Le niveau de performance pour les émissions de PCDD/PCDF des crématoires est $<0,1$ ng I-TEQ/Nm³. Pour une installation de combustion, ces niveaux d'émission sont exprimés en tant que concentrations massiques à 11% d'oxygène, sec et à des température et pression standard (0°C, 101,3 kPa). Comme il n'existe que peu d'informations fiables sur les émissions des PCB et de l'HCB des fours crématoires, les niveaux d'émissions atteignables pour ces espèces ne sont pas clairement déterminés.

Des données venant de crématoires au Royaume-Uni (Edwards 2001) pour les PCDD/PCDF vont de 0,01 à 0,12 ng I-TEQ/Nm³. Des données pour des installations existantes en France pour les PCDD/PCDF varient entre 0,1 et 4,2 I-TEQ/Nm³. (Livolsi *et al.* 2006). Le résultat moyen du PNUE venant de crématoires à Bangkok (ayant un long tuyau en briques pour les gaz sortant) pour les PCDD/PCDF était de 17,6 ng I-TEQ/Nm³ (Fiedler 2001). Une étude des crématoires en Corée a donné des concentrations de PCDD/PCDF de 0,46 à 2,1 ng I-TEQ/Nm³ (Kim *et al.* 2003).

Références

Australasian Cemeteries and Crematoria Association. 2004. *Cemetery Trust Manual*. Victorian Government Department of Human Services, Public Health Division.

Edwards P. 2001. «Review of Emissions from Crematoria in the UK.» AEA Technology Report. *Resurgam* 44:81–128 and *Pharos International* 67:3.

Fiedler H. 2001. *Thailand Dioxin Sampling and Analysis Program*. Report by UNEP Chemicals in cooperation with PCD, GTZ, Euro Chlor.

Kim D.H. *et al.* 2003. «Estimation of PCDDs, PCDFs and PAHs Emission from Crematories in Korea.» *Organohalogen Compd.* 63:9–12.

Livolsi B, Labrousse S. Baron P. Fiani E. (2006) «Dioxin emissions from French crematoria and associated health impact» *Organohalogen Compounds* 68. In press.

Notes

¹ 1 ng (nanogramme) = 1×10^{-12} kilogramme (1×10^{-9} gramme). Pour des informations sur la mesure de la toxicité, voir la section I.C, paragraphe 3 de la présente directive.



<http://www.pops.int>

UNEP/SSC/BATBEP/2008/12

Section V.IV Section V.A Section V.B Section V.C Section V.D Section V.E Section V.F Section V.G Section V.H Section V.I Section V.II Section V.IK Section V.LL Section V.LM

DIRECTIVES SUR LES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES

en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants

Les véhicules à moteur, notamment
ceux utilisant de l'essence au plomb



Le contenu de cette publication peut être reproduit à des fins éducatives ou sans but lucratif, dans son intégralité ou en partie, quelque soit le format, sans autre permission spéciale, pourvu que la source soit parfaitement identifiée. Le Secrétariat de la Convention de Stockholm et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) souhaiteraient recevoir une copie de tout ouvrage utilisant cette publication comme référence. Cette publication ne peut faire l'objet de revente ou toute autre activité commerciale sans l'accord préalable et par écrit du PNUE.

Publiée par le Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en octobre 2008. Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser au:

Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Genève, Suisse
ssc@pops.int - www.pops.int

Mise en page et impression par: SRO-Kundig - Genève

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

T A B L E D E S M A T I È R E S

SECTION I: INTRODUCTION

- I.A** OBJECTIF
- I.B** STRUCTURE DU DOCUMENT ET UTILISATION DES DIRECTIVES ET CONSEILS
- I.C** PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C: DÉFINITIONS, RISQUES, TOXICITÉ
- I.D** ARTICLE 5 ET L'ANNEXE C DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- I.E** LIEN AVEC LA CONVENTION DE BÂLE
- I.F** LIEN AVEC D'AUTRES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

SECTION II: CONSIDÉRATIONS D'ALTERNATIVES DANS L'APPLICATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

- II.A** CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES DANS LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- II.B** LA CONVENTION DE STOCKHOLM ET LES SOURCES NOUVELLES
- II.C** UNE APPROCHE À LA CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES
- II.D** AUTRES CONSIDÉRATIONS DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM

SECTION III: MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES: DIRECTIVES, PRINCIPES ET CONSIDÉRATIONS CROISÉES

- III.A** DIRECTIVES
- III.B** PRINCIPES ET APPROCHES GÉNÉRAUX
- III.C** CONSIDÉRATIONS CROISÉES:
 - (i) PRODUITS CHIMIQUES DE L'ANNEXE C: MÉCANISMES DE FORMATION
 - (ii) CONSIDÉRATIONS SUR LA GESTION DES DÉCHETS
 - (iii) EFFETS BÉNÉFIQUES ADDITIONNELS DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LES PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C
 - (iv) GESTION DES GAZ DE PROCÉDÉ ET D'AUTRES RÉSIDUS
 - (v) FORMATION DES DÉCIDEURS ET DU PERSONNEL TECHNIQUE
 - (vi) MESURES, SUIVI ET PRÉSENTATIONS DES RAPPORTS

SECTION IV: COMPILATION DES RÉSUMÉS DES CATÉGORIES DES SOURCES INCLUSES DANS LES SECTIONS V ET VI

RESUMES DE LA SECTION V: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

RESUMES DE LA SECTION VI: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

SECTION V: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DE SOURCES: CATEGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

- V.A** LES INCINÉRATEURS DE DÉCHETS
- (i) DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, DÉCHETS DANGEREUX ET DE BOUES D'ÉPURATION
 - (ii) DECHET MEDICAUX
- V.B** LE BRULAGE DE DÉCHETS DANGEREUX DANS LES FOURS A CIMENT
- V.C** LA PRODUCTION DE PÂTE À PAPIER UTILISANT LE CHLORE ÉLÉMENTAIRE, OU DES SUBSTANCES CHIMIQUES GÉNÉRANT DU CHLORE ÉLÉMENTAIRE
- V.D** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
- (i) PRODUCTION DU CUIVRE SECONDAIRE
 - (ii) USINES DE FRITTAGE DANS L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER
 - (iii) PRODUCTION D'ALUMINIUM SECONDAIRE
 - (iv) PRODUCTION DU ZINC SECONDAIRE

SECTION VI: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DES SOURCES: CATÉGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

- VI.A** LA COMBUSTION À CIEL OUVERT DE DÉCHETS, Y COMPRIS DANS LES DÉCHARGES
- VI.B** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE AUTRES QUE CEUX MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE C PARTIE II
- (i) PRODUCTION DU PLOMB SECONDAIRE
 - (ii) PRODUCTION D'ALUMINIUM PRIMAIRE
 - (iii) PRODUCTION DE MAGNESIUM
 - (iv) PRODUCTION D'ACIER SECONDAIRE
 - (v) PREMIERE FUSION DES METAUX DE BASE

VI.C	LES SOURCES DE COMBUSTION RÉSIDENTIELLES
VI.D	LA COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES DANS DES CHAUDIÈRES DE CENTRALES ET LES CHAUDIÈRES INDUSTRIELLES
VI.E	LES INSTALLATIONS DE BRÛLAGE DE BOIS ET DE COMBUSTIBLES ISSUS DE LA BIOMASSE
VI.F	LES PROCÉDÉS SPÉCIFIQUES DE PRODUCTION DE SUBSTANCES CHIMIQUES ENTRAÎNANT DES REJETS DE SUBSTANCES INSCRITES À L'ANNEXE C
VI.G	LES FOURS CRÉMATOIRES
VI.H	LES VÉHICULES À MOTEUR, NOTAMMENT CEUX UTILISANT DE L'ESSENCE AU PLOMB
VI.I	LA DESTRUCTION DE CARCASSES D'ANIMAUX
VI.J	LA TEINTURE DE TEXTILES OU DU CUIR (AU CHLORANILE) ET LA FINITION (EXTRACTION ALCALINE)
VI.K	LES INSTALLATIONS DE BROYAGE DES ÉPAVES DE VÉHICULES
VI.L	LE CHAUFFAGE LENT DE CÂBLES EN CUIVRE
VI.M	LES RAFFINERIES D'HUILES USÉES

Section VI.H

Directives/conseils par catégorie des sources:
Catégories des sources dans la Partie III de l'Annexe C

**Partie III Catégorie de source (h):
Les véhicules à moteur, notamment ceux utilisant de l'essence
au plomb**

T A B L E D E S M A T I È R E S

VI.H Les véhicules à moteur, notamment ceux utilisant de l'essence au plomb	9
1. Introduction	9
1.1 Description du procédé	9
1.2 Les carburants, les types de moteur et les émissions	9
2. La formation et les rejets des PCDD/PCDF	10
2.1 Etudes des émissions des PCDD/PCDF	10
2.2 Résumé des résultats	13
3. Les meilleures techniques disponibles et pratiques environnementales.....	14
4. Les réglementations visant à une réduction des émissions de PCDD/PCDF.....	14
Références	15
Encadrés	
Tableau 1. Les émissions de PCDD/PCDF issues des véhicules à moteur	12

■ Résumé

Les principaux combustibles utilisés dans les moteurs pour véhicules sont l'essence et le diesel. Le gaz de pétrole liquéfié, les huiles à base de végétaux et autres biocombustibles, et les mélanges alcool huile gagnent en importance.

Des PCDD et PCDF ont été détectés dans les émissions de véhicule à moteur brûlant de l'essence ou du diesel. Les émissions les plus importantes identifiées provenant de véhicules fonctionnant sur de l'essence au plomb sont dues à la présence de *scavengers* (composés, ajoutés au carburant, qui piègent les impuretés non désirables) chlorés et bromés dans le carburant.

Comme substituts à l'essence au plomb, les carburants suivants peuvent être pris en compte: essence sans plomb (mieux quand muni d'un catalyseur); le diesel (mieux quand équipé d'un catalyseur pour oxydation du diesel, et d'un filtre à particules); le gaz de pétrole liquéfié (GPL); le gaz naturel comprimé; le mélange butane/propane; les biocarburants, et les mélanges alcool/huile.

Les meilleures techniques disponibles comprennent l'interdiction des *scavengers* halogénés, et l'équipement de véhicules avec un catalyseur d'oxydation ou un filtre à particule.

Il n'existe pas de données mesurées pour les biocarburants, les mélanges alcool/huile ou le gaz de pétrole liquéfié, ni pour les moteurs à 2 temps.

1. Introduction

1.1 Description du procédé

Pour les véhicules à moteur, la description du procédé est relativement simple. Le moteur à essence tire sa puissance de l'explosion d'un mélange air-essence, tandis que dans le moteur diesel le carburant brûle plutôt que d'exploser. Le mélange air-carburant, quand il est allumé, se dilate rapidement dans un cylindre, forçant le piston à se déplacer du haut du cylindre vers le bas. Après être sorti du véhicule, le gaz d'échappement est dilué environ mille fois dans les premières secondes puis est refroidi très rapidement (DEH 2004).

1.2 Les carburants, les types de moteur et les émissions

Les carburants principaux utilisés pour le transport sont l'essence, le diesel et le gaz de pétrole liquéfié (GPL). La plupart des moteurs à combustion interne, fonctionnant à l'essence et utilisés dans des voitures, camions légers, motocyclettes et autres véhicules, sont des moteurs à 4-temps. Comme dans le cas de beaucoup de procédés de combustion, les moteurs à combustion interne génèrent des dibenzo-*p*-dioxines

polychlorés (PCDD) et des dibenzofuranes polychlorés (PCDF) comme produits indésirables (PNUE 2005).

La plupart des petits moteurs à combustion interne, brûlant de l'essence et utilisés dans des bateaux, des jet skis, des cyclomoteurs, petites motos, tuk-tuk, tondeuses à gazon, scies à chaînes, et autres véhicules et dispositifs sont des moteurs 2-temps. Ces moteurs suivent le même cycle de combustion thermodynamique; cependant ils n'ont que deux mouvements par cycle, à savoir celui combinant l'échappement et l'admission, et celui pour la compression, l'allumage et la combustion. La différence la plus importante par rapport au moteur 4-temps est le fait que tous les mouvements se produisent pendant seulement un tour complet du vilebrequin. La lubrification est normalement faite par de l'huile qui est ajoutée au combustible. Il est possible donc que de plus grandes quantités de polluants soient formées, et que l'efficacité soit plus faible que pour le moteur 4-temps. Cependant sa simplicité et les coûts de production faibles rendent le moteur 2-temps très attractif pour des applications à petite échelle.

Les moteurs au diesel sont utilisés dans les camions lourds, les camions légers, les voitures de particulier, les équipements lourds pour la construction, les bateaux, les générateurs, les pompes et les équipements agricoles, y compris les tracteurs et autres équipements lourds. Ils utilisent normalement du diesel (fuel léger) et un moteur à cycle 4-temps. C'est la compression plutôt qu'une étincelle qui est utilisée pour l'allumage. L'air est aspiré dans le cylindre et comprimé. Le combustible diesel est introduit à haute pression et brûle. Ceci mène à une utilisation plus efficace du combustible, et donne des émissions spécifiques plus faibles. Cependant les moteurs diesel mènent à des émissions de particules, sous la forme de suie, à cause de la combustion incomplète, surtout pendant le démarrage, le chauffage et des changements de charge. Il est bien connu que les émissions de particules des moteurs diesel contiennent des concentrations élevées d'hydrocarbures polycycliques aromatiques.

Depuis que les PCDD/PCDF ont été détectés pour la première fois dans des huiles usagées de moteur (Ballschmiter *et al.* 1986), il y a des indications de plus en plus concordantes que les PCDD/PCDF sont formés et rejetés par les procédés de combustion dans les moteurs à l'essence et au diesel. Une combustion incomplète et la présence d'une source de chlore sous forme d'additifs dans l'huile ou l'essence au plomb mènent à la formation de PCDD/PCDF, des produits chimiques qui sont inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm (Marklund *et al.* 1987, 1990; Schwind *et al.* 1991; Hutzinger *et al.* 1992; Gullett et Ryan 1997). Tandis que pour les moteurs à essence le seul vecteur de rejet pour les PCDD/PCDF est l'air, les moteurs diesel génèrent des quantités considérables de dépôts solides (suie). Il n'existe cependant pas de données pour les concentrations de PCDD/PCDF dans la suie de diesel (PNUE 2005).

2. La formation et les rejets des PCDD/PCDF

2.1 Etudes des émissions des PCDD/PCDF

Plusieurs études en Europe et une aux Etats-Unis ont évalué les émissions de PCDD/PCDF venant de véhicules, en mesurant la présence de PCDD/PCDF de l'air dans des tunnels.

Cette approche présente l'avantage de faire l'échantillonnage au hasard d'un grand nombre de voitures, y compris avec une gamme d'anciennetés et de niveaux d'entretien. Par contre, l'inconvénient de cette approche est qu'elle dépend de mesures indirectes, ce qui pourrait introduire des incertitudes et rendre l'interprétation des résultats difficile. On peut craindre aussi, dans des études en tunnel, que les particules en suspension avec les PCDD/PCDF absorbés, qui se sont accumulés dans le temps, peuvent conduire à une surestimation des émissions. Il a donc été estimé ici que cette approche n'était pas valable, et les résultats y associés ne seront pas pris en considération en plus de détail dans ces directives. Pour plus d'informations, se référer aux références traitant d'études en tunnel, et à l'air ambiant.

La première étude concernant les émissions venant des extrémités des tuyaux (d'échappement) de voitures, a été faite par Marklund *et al.* (1987) sur des voitures suédoises. Depuis lors, plusieurs études ont été effectuées, soit sur des moteurs en marche (voitures de particuliers, ou camions), soit sur des dynamomètres moteurs/châssis. Divers carburants ont été testés dans des conditions différentes (en simulant des conditions différentes de trafic, ou en faisant varier les charges). Les résultats de ces études, qui indiquent les émissions sur la base de la consommation de carburant, sont résumés dans le Tableau 1.

■ **Tableau 1. Les émissions de PCDD/PCDF issues des véhicules à moteur**

Combustible	Type de véhicule	Emission (pg TEQ/L)	Référence
Essence au plomb, 4-temps	Voiture de particulier: avant pot d'échappement/dans le tuyau de sortie	60/10	Marklund <i>et al.</i> 1990
	Voiture de particulier neuve: avant silencieux/dans pot d'échappement	21/23	Marklund <i>et al.</i> 1990
	Voiture de particulier	0.55–1.66	Schwind <i>et al.</i> 1991
Diesel	Camion	291	Geueke <i>et al.</i> 1999
	Véhicule lourd de service	29.3–47.7	Gullett and Ryan 1997
	Voiture de particulier	2–141	Schwind <i>et al.</i> 1991
	Camion	4–88	Schwind <i>et al.</i> 1991
	Pas d'information	0,5; 0,6; 2,0	Kim <i>et al.</i> 2003
	Camion	1,20–103	Gouvernement du Japon 2003
	Voiture de particulier	1,47–121	Gouvernement du Japon 2003
Essence sans plomb, 4-temps	Voiture de particulier (chlore: 12, 131, 259 ppm)	3–49	Dyke 2005
	Voiture de particulier, ancienne et neuve: avant silencieux ou dans pot d'échappement	3,5	Marklund <i>et al.</i> 1990
	Voiture de particulier	5–22	Schwind <i>et al.</i> 1991
	Camion	0,42; 0,99	Gouvernement du Japon 2003
	Voiture de particulier	0,34–16,42	Gouvernement du Japon 2003
Essence sans plomb, avec catalyseur, 4 temps	Voiture de particulier	2–3	Schwind <i>et al.</i> 1991

En 1994, Hagenmaier et collaborateurs ont analysé les émissions d'un bus à moteur diesel (Hagenmaier 1994; Hagenmaier *et al.* 1995). Les concentrations des PCDD/PCDF étaient autour de 1 pg/L pour les congénères individuels substitués en 2,3,7,8, donnant un I-TEQ de 0,01 ng I-TEQ/L. Les résultats de 1994 étaient donc beaucoup plus faibles que les résultats obtenus en 1990 (Hagenmaier *et al.* 1990). Tandis qu'en 1990 il était possible de quantifier les dibenzo-*p*-dioxines (PXDD) et les dibenzofuranes (PXDF) à halogénéation mixte (X = Br, Cl), les émissions de 1994 ne contenaient pas de quantités détectables de PXDD/PXDF. De la même manière, les concentrations de PCDD/PCDF

étaient inférieures aux limites de quantification dans un extrait provenant d'un véhicule à moteur à essence (Hagenmaier *et al.* 1995). Ces résultats indiquent qu'avec l'interdiction d'utiliser les *scavengers* halogénés (en Allemagne, voir: BImSchV 1992), on a éliminé la source principale de PCDD/PCDF (et de PXDD/PXDF). Les résultats ont aussi démontré qu'une contamination croisée a eu lieu car les mêmes récipients étaient utilisés pour le transport des 3 carburants: diesel, essence au plomb et essence sans plomb. Lors d'un programme de test destiné à mesurer les émissions de PCDD/PCDF et des polychlorobiphényles (PCB) venant des moteurs au diesel, les PCB ont été détectés dans certains essais à des valeurs de 3,6 à 8,0 pg WHO-TEQ/L, faibles comparées aux niveaux des dioxines (Dyke 2005). Il est possible qu'il y ait eu des effets incontrôlés dus à un mauvais entretien des moteurs qui ont affecté les essais précédents.

2.2 Résumé des résultats

La littérature documentant les résultats obtenus en Europe, au Japon (voir aussi Miyaet *et al.* 1999), en Corée, ainsi qu'aux Etats-Unis indiquent que:

- Les émissions de PCDD/PCDF issus de véhicules utilisant des combustibles sans plomb sont plus faibles que les émissions de véhicules à l'essence au plomb;
- Les émissions plus élevées constatées pour les véhicules utilisant des carburants au plomb sont dues à la présence de *scavengers* bromés rajoutés au carburant;
- Les voitures équipées de catalyseur - utilisant de l'essence sans plomb - ont les émissions les plus faibles;
- Des tests limités démontrent que les catalyseurs à oxydation pour le diesel sont efficaces pour réduire les émissions de PCDD/PCDF;
- Les filtres à particules diesel sont efficaces pour réduire les émissions PCDD/PCDF dans les véhicules utilisant le diesel;
- Les véhicules diesel ont des émissions plus faibles que ceux brûlant de l'essence au plomb, et des émissions un peu plus élevées que les véhicules à essence sans plomb et équipés de convertisseurs catalytiques;
- L'utilisation des huiles de moteur à faible teneur en chlore (dans les expériences sur diesel) n'a pas permis de réduire les émissions de PCDD/PCDF.

L'influence de l'âge du véhicule n'est pas claire. Tandis que Marklund *et al.* (1990) ont trouvé des émissions plus élevées dans les véhicules plus âgés, l'étude allemande (Schwind *et al.* 1991; Hutzinger *et al.* 1992) n'a pas pu mettre en évidence une telle dépendance.

On ne dispose pas de données mesurées pour les types de moteurs suivants:

- Moteur à 2-temps;
- Utilisant du GPL;
- Utilisant des mélanges alcool-huile;
- Utilisant des biocarburants (colza, etc.)

3. Les meilleures techniques disponibles et pratiques environnementales

Les meilleures techniques disponibles pour réduire les émissions de PCDD/PCDF provenant des véhicules à moteur pourraient comprendre:

- L'interdiction d'additifs (*scavengers*) halogénés;
- L'interdiction de l'utilisation de l'essence au plomb;
- L'installation de filtres à particules pour diesel et/ou de convertisseurs catalytiques;
- Des alternatives au moteur à essence (électrique, à énergie solaire et à pile à combustible).

Les meilleures pratiques environnementales pourraient inclure:

- des politiques d'économie, telles une plus grande efficacité du carburant devraient être encouragées; de même, des moyens alternatifs de transport, y compris le vélo, le train et autres transports publics, devraient être favorisés;
- la séparation des conteneurs de transport selon le carburant (par exemple, ne pas transporter de l'essence au plomb contenant des *scavengers* halogénés dans des conteneurs qui sont aussi utilisés pour le transport de diesel ou d'essence sans plomb);
- l'interdiction d'utiliser l'essence au plomb;
- la promotion de véhicules à faible consommation de carburant;
- l'éducation pour identifier les conditions de conduite qui mènent à une faible formation et rejet de polluants;
- un bon entretien du véhicule.

4. Les réglementations visant à une réduction des émissions de PCDD/PCDF

Au Japon, la loi sur les mesures spéciales concernant les dioxines (entrée en vigueur en 1999) réglemente les concentrations des émissions de PCDD/PCDF provenant de sources spécifiques, mais ne couvre pas les émissions de véhicules à moteur. Pour les carburants utilisés dans les véhicules à moteur, l'essence totalement sans plomb a été introduite pendant les années '80 et les ventes d'essence au plomb ont été interdites par la loi sur le plomb, le benzène et le soufre. Dans la zone métropolitaine de Tokyo, il est obligatoire que les véhicules au diesel soient équipés de filtres à particules diesel.

En Allemagne, la 19^e BImSchV interdit l'utilisation de *scavengers* halogénés dans les véhicules à moteur, ceci dans le but de réduire les émissions de PCDD/PCDF provenant de véhicules roulant à l'essence au plomb (BImSchV 1992).

Références

Ballschmiter K., Buchert H., Niemczyk R., Munder A. and Swerev M. 1986. «Automobile Exhausts versus Municipal Waste Incineration as Sources of the Polychlorodibenzodioxins (PCDD) and -furans (PCDF) found in the Environment.» *Chemosphere* 15:901–915.

BlmSchV. 1992. *19. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes vom 24.07.1992 (Verordnung über Chlor- und Bromverbindungen als Kraftstoffzusatz - 19. BImSchV)*. Bundesgesetzblatt Teil 1, Jahrgang 1992, 75 (Ordinance on ban of halogenated scavengers, Germany).

DEH (Department of the Environment and Heritage, Australia). 2004. *Dioxins Emissions from Motor Vehicles in Australia*. Technical Report No. 2, National Dioxins Programme. Australian Government, Department of the Environment and Heritage.

Dyke P.H., Sutton M. 2005. «The Effect of Lubricating Oil on Diesel Engine PCDD/F and PCB Emissions.» *Organohalogen Compd.* 67:2189–2191.

Dyke P.H., Sutton M., Wood D. 2006. Study on the effect of chlorine in lubricating oil on emissions of PCDD/F from a diesel engine. *Organohalogen Compd* 68.

Geueke K.-J., Gessner A., Quass U., Bröker G. and Hiester E. 1999. «PCDD/F Emissions from Heavy Duty Vehicle Diesel Engines.» *Chemosphere* 38:2791–2806.

Government of Japan. 2003. *Inventory of PCDDs/DFs Emissions*. Government of Japan, Ministry of the Environment. www.env.go.jp/air/report/h15-05/index.html.

Gullett B. and Ryan J.V. 1997. «On-Road Sampling of Diesel Engine Emissions of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxin and Polychlorinated Dibenzofuran.» *Organohalogen Compd.* 32:451–456.

Hagenmaier H. 1994. «Contributions of Diesel-Powered Vehicles and Wood Burning to Overall PCDD/PCDF Emissions.» *Organohalogen Compd.* 20:267–270.

Hagenmaier H., Dawidowsky N., Weberuss U., Hutzinger O., Schwind K.-H., Thoma H., Essers U., Buhler B. and Greiner R. 1990. «Emission of Polyhalogenated Dibenzodioxins and Dibenzofurans from Combustion Engines.» *Organohalogen Compd.* 2:329–334.

Hagenmaier H., Krauss P., Vatter J. and Walczok M. 1995. «Eintrag und Verbleib von PCDD/PCDF: Bedeutung der Einträge durch Automobilabgase und Holzfeuerungen.» *Organohalogen Compd.* 22:49–54.

Hutzinger, O., Hagenmaier H., Essers U., Bessy E., Schwind K.-H., Thoma H., Dawidowsky N., Weberuss U., Betz U., Bühler U. and Greiner R. 1992. «Untersuchungen zur Emission halogenierter Dibenzodioxine und Dibenzofurane aus Verbrennungsmotoren beim Betrieb mit handelsüblichen Betriebsstoffen.» GSF-Forschungszentrum, Munich, Germany.

Kim K.-S., Hong K.-H., Ko Y.-H., Yoon K.-D. and Kim M.-G. 2003. «Emission Characteristics of PCDD/Fs in Diesel Engine with Variable Load Rate.» *Chemosphere* 53:601–607.

Larsen S., Brevik E.M. and Oehme M. 1990. Emission Factors of PCDD and PCDF for Road Vehicles Obtained by Tunnel Experiment.» *Organohalogen Compd.* 1:453-456.

Marklund S., Andersson R., Tysklind M., Rappe C., Egebäck K.E., Bjorkman E. and Grigoriadis V. 1990. «Emissions of PCDDs and PCDFs in Gasoline and Diesel Fueled Cars.» *Chemosphere* 20:553–561.

Marklund S., Rappe C., Tysklind M. and Egebäck K. 1987. «Identification of Polychlorinated Dibenzofurans and Dioxins in Exhausts from Cars Run on Leaded Gasoline.» *Chemosphere* 16:29–36.

- Miyabara Y., Hashimoto S., Sagai M. and Morita M. 1999. «PCDDs and PCDFs in Vehicle Exhaust Particles in Japan.» *Chemosphere* 39:143–150.
- Oehme M., Larssen S. and Brevik E.M. 1991. «Emission Factors of PCDD/CDF for Road Vehicles Obtained by a Tunnel Experiment.» *Chemosphere* 23:1699–1708.
- Rappe C., Kjeller L.O., Bruckmann P. and Hackhe K.H. 1988. «Identification and Quantification of PCDD/CDFs in Urban Air.» *Chemosphere* 17:3–20.
- Wevers M., De Fre R. and Rymer T. 1992. «Dioxins and Dibenzofurans in Tunnel Air.» *Organohalogen Compd.* 9:321–324.
- Schwind K.-H., Thoma H., Hutzinger O., Dawidowsky N., Weberuss U., Hagenmaier H., Bühler U., Greiner R., Essers U. and Bessey E. 1991. «Emission halogener Dibenzo-dioxine (PXDD) und Dibenzofurane (PXDF) aus Verbrennungsmotoren beim Betrieb mit handelsüblichen Betriebsstoffen.» *UWSF-Z Umweltchem. Oekotox* 3:291–298.
- PNUE (Programme des Nations Unies sur l'Environnement). 2005. Outil standard (Toolkit) pour l'identification et quantification des rejets de dioxines et des furannes. Edition 2.1. PNUE, Genève.



<http://www.pops.int>

UNEP/SSC/BATBEP/2008/13

Section V.IV Section V.A Section V.B Section V.C Section V.D Section V.E Section V.F Section V.G Section V.H Section V.I Section V.II Section V.IK Section V.LL Section V.LM

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

La destruction de carcasses d'animaux



Le contenu de cette publication peut être reproduit à des fins éducatives ou sans but lucratif, dans son intégralité ou en partie, quelque soit le format, sans autre permission spéciale, pourvu que la source soit parfaitement identifiée. Le Secrétariat de la Convention de Stockholm et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) souhaiteraient recevoir une copie de tout ouvrage utilisant cette publication comme référence. Cette publication ne peut faire l'objet de revente ou toute autre activité commerciale sans l'accord préalable et par écrit du PNUE.

Publiée par le Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en octobre 2008. Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser au:

Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Genève, Suisse
ssc@pops.int - www.pops.int

Mise en page et impression par: SRO-Kundig - Genève

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

T A B L E D E S M A T I È R E S

SECTION I: INTRODUCTION

- I.A** OBJECTIF
- I.B** STRUCTURE DU DOCUMENT ET UTILISATION DES DIRECTIVES ET CONSEILS
- I.C** PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C: DÉFINITIONS, RISQUES, TOXICITÉ
- I.D** ARTICLE 5 ET L'ANNEXE C DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- I.E** LIEN AVEC LA CONVENTION DE BÂLE
- I.F** LIEN AVEC D'AUTRES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

SECTION II: CONSIDÉRATIONS D'ALTERNATIVES DANS L'APPLICATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

- II.A** CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES DANS LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- II.B** LA CONVENTION DE STOCKHOLM ET LES SOURCES NOUVELLES
- II.C** UNE APPROCHE À LA CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES
- II.D** AUTRES CONSIDÉRATIONS DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM

SECTION III: MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES: DIRECTIVES, PRINCIPES ET CONSIDÉRATIONS CROISÉES

- III.A** DIRECTIVES
- III.B** PRINCIPES ET APPROCHES GÉNÉRAUX
- III.C** CONSIDÉRATIONS CROISÉES:
 - (i) PRODUITS CHIMIQUES DE L'ANNEXE C: MÉCANISMES DE FORMATION
 - (ii) CONSIDÉRATIONS SUR LA GESTION DES DÉCHETS
 - (iii) EFFETS BÉNÉFIQUES ADDITIONNELS DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LES PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C
 - (iv) GESTION DES GAZ DE PROCÉDÉ ET D'AUTRES RÉSIDUS
 - (v) FORMATION DES DÉCIDEURS ET DU PERSONNEL TECHNIQUE
 - (vi) MESURES, SUIVI ET PRÉSENTATIONS DES RAPPORTS

SECTION IV: COMPILATION DES RÉSUMÉS DES CATÉGORIES DES SOURCES INCLUSES DANS LES SECTIONS V ET VI

RESUMES DE LA SECTION V: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

RESUMES DE LA SECTION VI: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

SECTION V: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DE SOURCES: CATEGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

- V.A** LES INCINÉRATEURS DE DÉCHETS
- (i) DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, DÉCHETS DANGEREUX ET DE BOUES D'ÉPURATION
 - (ii) DECHET MEDICAUX
- V.B** LE BRULAGE DE DÉCHETS DANGEREUX DANS LES FOURS A CIMENT
- V.C** LA PRODUCTION DE PÂTE À PAPIER UTILISANT LE CHLORE ÉLÉMENTAIRE, OU DES SUBSTANCES CHIMIQUES GÉNÉRANT DU CHLORE ÉLÉMENTAIRE
- V.D** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
- (i) PRODUCTION DU CUIVRE SECONDAIRE
 - (ii) USINES DE FRITTAGE DANS L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER
 - (iii) PRODUCTION D'ALUMINIUM SECONDAIRE
 - (iv) PRODUCTION DU ZINC SECONDAIRE

SECTION VI: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DES SOURCES: CATÉGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

- VI.A** LA COMBUSTION À CIEL OUVERT DE DÉCHETS, Y COMPRIS DANS LES DÉCHARGES
- VI.B** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE AUTRES QUE CEUX MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE C PARTIE II
- (i) PRODUCTION DU PLOMB SECONDAIRE
 - (ii) PRODUCTION D'ALUMINIUM PRIMAIRE
 - (iii) PRODUCTION DE MAGNESIUM
 - (iv) PRODUCTION D'ACIER SECONDAIRE
 - (v) PREMIERE FUSION DES METAUX DE BASE

VI.C	LES SOURCES DE COMBUSTION RÉSIDENTIELLES
VI.D	LA COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES DANS DES CHAUDIÈRES DE CENTRALES ET LES CHAUDIÈRES INDUSTRIELLES
VI.E	LES INSTALLATIONS DE BRÛLAGE DE BOIS ET DE COMBUSTIBLES ISSUS DE LA BIOMASSE
VI.F	LES PROCÉDÉS SPÉCIFIQUES DE PRODUCTION DE SUBSTANCES CHIMIQUES ENTRAÎNANT DES REJETS DE SUBSTANCES INSCRITES À L'ANNEXE C
VI.G	LES FOURS CRÉMATOIRES
VI.H	LES VÉHICULES À MOTEUR, NOTAMMENT CEUX UTILISANT DE L'ESSENCE AU PLOMB
VI.I	LA DESTRUCTION DE CARCASSES D'ANIMAUX
VI.J	LA TEINTURE DE TEXTILES OU DU CUIR (AU CHLORANILE) ET LA FINITION (EXTRACTION ALCALINE)
VI.K	LES INSTALLATIONS DE BROYAGE DES ÉPAVES DE VÉHICULES
VI.L	LE CHAUFFAGE LENT DE CÂBLES EN CUIVRE
VI.M	LES RAFFINERIES D'HUILES USÉES

Section VI.I

**Directives/conseils par catégorie des sources:
Catégories des sources dans la Partie III de l'Annexe C**

Partie III Catégorie de source (i): La destruction de carcasses d'animaux

T A B L E D E S M A T I È R E S

VI.I Destruction de carcasses d'animaux	9
1. Description des procédés.....	9
2. Sources de produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm.....	11
2.1 Emissions de polluants organiques persistants of persistent dans la destruction de carcasses d'animaux.....	11
2.2 Information générale sur les émissions venant de la destruction de carcasses d'animaux.....	11
3. Procédés conseillés.....	14
3.1 Revue des options d'élimination.....	14
3.2 Meilleures techniques disponibles.....	15
3.3 Meilleures pratiques environnementales.....	16
4. Mesures primaires et secondaires.....	17
4.1 Mesures primaires.....	17
4.2 Mesures secondaires.....	19
5. Résumé des mesures.....	21
6. Niveaux de performance possibles.....	24
Références.....	24

Tableaux

Tableau 1. Epidémie de fièvre aphteuse, UK 2001; élimination des carcasses.....	12
Tableau 2. Mesures concernant les procédés conseillés pour de nouveaux incinérateurs de carcasses d'animaux.....	21
Tableau 3. Résumé des mesures primaires et secondaires pour la destruction de carcasses d'animaux.....	22

Figures

Figure 1. Schéma d'un procédé continu traditionnel de réduction thermique pour la destruction des carcasses.....	10
--	----

■ Résumé

La formation et l'émission de PCDD, PCDF, PCB et HCB dans des incinérateurs pour carcasses d'animaux sont dues à la présence de matériaux chlorés, de précurseurs et de chlore dans les carcasses, ou dans des plastiques que l'on peut incinérer en même temps que des carcasses et sous-produits. Des mesures que l'on peut prendre pour réduire la formation et le rejet de polluants organiques persistants incluent l'interdiction d'incinérer les carcasses avec d'autres déchets, l'exigence d'une température minimale de 850°C pour le four, un temps de résidence de 2 secondes pour les gaz de combustion, et un excès suffisant d'air pour assurer une combustion complète. Les installations plus grandes (>50 kg/h) devront être équipées d'un dispositif de contrôle de la pollution des gaz permettant de minimiser les émissions du dioxyde de soufre, de HCl, du monoxyde de carbone, des composés organiques volatiles, des poussières et des polluants organiques persistants. Des niveaux de performance pour les émissions de PCDD/PCDF dans l'air, associés aux meilleures techniques disponibles sont <0,1 ng I-TEQ/Nm³.

On ne considère pas que d'autres méthodes d'élimination telles que l'enfouissement, la mise en décharge ou le compostage puissent contribuer de manière significative aux émissions de produits chimiques inscrits à l'Annexe C, bien qu'il faille considérer des facteurs liés à l'environnement, comme la santé publique, les nuisances, et la santé des animaux. La digestion par hydrolyse alcaline est une autre technique pour l'élimination des carcasses d'animaux.

I. Description de procédés

On détruit normalement les carcasses d'animaux par incinération, par réduction thermique («*rendering*» en anglais) ou par une combinaison de ces deux technologies.

Les techniques d'incinération comprennent la pyrolyse, la gazéification ou autres formes de traitements thermiques, et peuvent concerner l'incinération d'une partie ou de l'ensemble de la carcasse. La réduction thermique couvre plusieurs techniques pour le traitement de carcasses dans le but d'en récupérer certaines parties.

Une réglementation récente en Europe (EC Directive 1774/2002/EC sur les sous-produits animaux) limite l'utilisation de matériaux provenant de la réduction thermique en tant qu'alimentation pour l'homme ou les animaux, pour tenir compte des préoccupations pour la santé de l'homme et les animaux. L'utilisation de sous-produits provenant des animaux a augmenté ces dernières années, en même temps que le changement de la perception de ce que peut être un produit de viande désirable (c'est-à-dire, la proportion d'un animal qui est considérée comme étant un sous-produit est en augmentation).

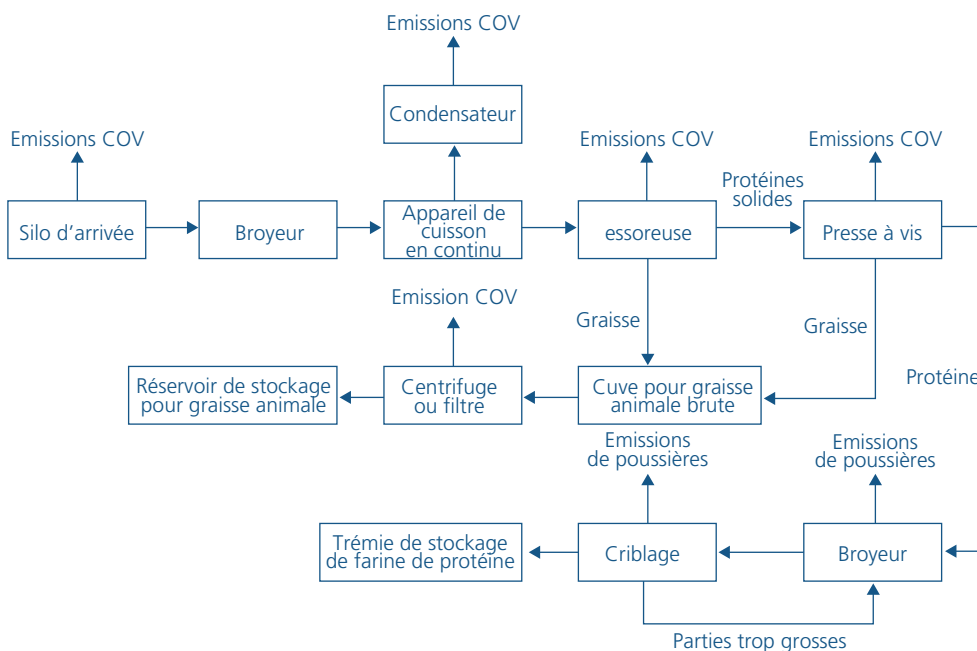
Les procédés de réduction thermique incluent le traitement de peaux, de plumes, d'organes, des os, des chutes diverses, des fluides et des graisses. En général le processus de réduction thermique comprend le concassage et le broyage de sous-

produits suivis d'un traitement thermique (Figure 1). Parmi ces procédés se trouvent l'hydrolyse à haute pression et haute température ; le procédé de fabrication de biogaz par hydrolyse haute pression; la production de biogaz et la gazéification. La séparation du suif fondu, des matériaux solides, est effectuée par centrifugation ou utilisation d'un presseur. La fraction solide est souvent broyée pour donner des farines de viande et d'os.

Ces farines ont été traditionnellement utilisées un supplément d'alimentation pour les animaux, mais cette pratique est interdite dans l'Union Européenne, et ces produits sont maintenant brûlés dans des incinérateurs appropriés ou bien enterrés. Une des possibilités actuelles est l'utilisation de ces farines comme combustible alternatif dans les fours à ciment (voir la Section V.B du présent document d'orientation).

Le suif est utilisé dans plusieurs industries (y compris l'industrie alimentaire), et en particulier celle de l'oléochimie, qui affine le suif pour donner toute une gamme de produits. Dans l'Union Européenne, le suif dérivé d'animaux plus âgés, et d'autres matériaux identifiés comme étant à risque, est traité séparément et n'est pas utilisé pour l'alimentation d'animaux mais est plutôt traité comme un déchet. Il peut cependant être utilisé comme combustible (à l'intérieur de l'Union Européenne la combustion est régie par encore une autre réglementation – La Directive sur l'Incinération de Déchets, Directive EC 2000/76/EC).

■ **Figure 1. Schéma d'un procédé continu traditionnel de réduction thermique pour la destruction des carcasses**



Source: EPA 1995.

Plusieurs types de fours sont utilisés pour l'incinération de carcasses d'animaux. Les incinérateurs pour les petites carcasses sont équipés d'une simple chambre de combustion sans agitation active de la carcasse. Des installations plus grandes sont parfois équipées d'un four tournant pour faciliter l'agitation et la désintégration de la carcasse. De la même manière, on peut obtenir une agitation avec un four à foyer mobile. En général, la combustion d'une carcasse entière est difficile. Il est plus facile de

contrôler la combustion dans un four si on peut disposer d'une matière à brûler plus homogène, obtenue par exemple par macération, broyage ou autres techniques.

2. Sources de produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm

2.1 Emissions de polluants organiques persistants dans la destruction de carcasses d'animaux

La formation et l'émission de dibenzo-*p*-dioxine polychlorés (PCDD), de dibenzofuranes polychlorés (PCDF), de polychlorobiphényles (PCB) et d'hexachlorobenzène (HCB) provenant des incinérateurs de carcasses d'animaux sont dues à la présence de ces composés¹, de précurseurs ou de chlore dans les carcasses ou dans des matières plastiques qui peuvent être brûlés en même temps que les carcasses. Bien que des mesures des émissions de PCDD et de PCDF aient été effectuées sur des incinérateurs, il n'y a que très peu de données consistantes (ou aucune) sur les émissions de PCB et d'HCB. Les niveaux d'émission des PCB et du HCB sont donc bien plus incertains que pour les PCDD et PCDF dans de telles installations.

En général, on considère que les procédés de réduction thermique sont des sources peu probables de polluants organiques persistants. Il existe cependant une possibilité pour qu'il y ait une concentration de matériaux dans les résidus de carcasses, et aussi de rejets d'activités en aval (par ex., la combustion de matériaux.).

2.2 Information générale sur les émissions venant de la destruction de carcasses

2.2.1 Incinération

Les émissions vers l'air sont composées d'oxydes d'azote (NO_x), de monoxyde de carbone (CO), de dioxyde de soufre (SO₂), de matières particulaires, de composés métalliques, de composés organiques et de PCDD/PCDF.

Des installations d'incinérations plus grandes peuvent être munies d'équipement sophistiqué de contrôle de la pollution de l'air (par exemple, filtration sur tissu, injection de chaux et de charbon actif). Des unités plus petites comprennent les incinérateurs pour les sous-produits d'abattoir et pour des dispositifs vétérinaires, les incinérateurs sur la ferme pour l'élimination d'animaux morts, et les crématoires pour animaux de compagnie. Ces unités peuvent disposer de dispositifs de contrôle de la pollution allant du minimum (c'est-à-dire, une chambre de combustion plus une cheminée) jusqu'à des systèmes plus sophistiqués avec des chambres de combustion secondaires, des post-brûleurs, et une filtration.

D'autres voies d'émission comprennent les cendres et les résidus venant des contrôles de la pollution de l'air, surtout vers la terre. Il est peu probable qu'il y ait des rejets significatifs vers l'eau.

2.2.2 Brûlage à l'air libre

Le brûlage de carcasses d'animaux à ciel ouvert n'est pas rare. Cependant, le brûlage de plus que quelques carcasses en une seule fois est moins courant. Le gouvernement du Royaume Unis a utilisé le brûlage à grande échelle en 2001 dans le cadre des mesures prises pour contrôler une épidémie de fièvre aphteuse mais il est peu probable d'envisager de telles mesures appropriées à l'avenir. (Tableau 1).

■ **Tableau 1. Epidémie de fièvre aphteuse, UK 2001 ; élimination des carcasses**

Méthode d'élimination	Statistiques provisoires
Brûlage (sur la ferme)	>950 sites
Enterrement (sur la ferme)	900 sites
Enterrement collectif	61'000 tonnes sur 4 sites
Décharge commercial	95'00 tonnes sur 29 sites
Réduction thermique	131'000 tonnes sur 7 unités

Source: Anderson 2002.

Les émissions de PCDD/PCDF vers l'atmosphère, à partir des bûchers mis en place lors de l'épidémie de 2001, ont été estimées à environ 0,7 g, comparées à un total d'émission au Royaume Uni de 314 g (site Internet du NAEI). Pour ces bûchers, grand soin a été pris d'utiliser des traverses de chemin de fer qui n'avaient pas été traitées avec des produits du traitement du bois comme le pentachlorophénol ou le lindane, ce qui a minimisé les rejets de PCDD/PCDF. Les incinérateurs à rideau offrent un niveau de technologie entre celles des bûchers et les incinérateurs classiques, mais ne sont pas beaucoup utilisés en tant qu'installations permanentes. Les unités plus grandes sont essentiellement des fosses spécialement conçues, avec un soufflant pour faciliter la combustion, ainsi qu'un dispositif d'orientation permettant de contrôler le flux d'air, placé sur le côté. De telles unités présentent une combustion améliorée par rapport au brûlage à l'air libre et trouvent des applications pour l'élimination de carcasses à petite échelle, à des fins de contrôle des maladies. Il faut tenir compte de la nécessité d'éliminer les cendres dans la terre, ainsi que des rejets possibles dans l'eau dans le cas de combustion à l'air libre ou dans des fosses.

2.2.3 Emissions provenant de la réduction thermique

Les procédés de réduction thermique comprennent le traitement des peaux, des plumes, des organes, des rognures, des os, des fluides corporels et les graisses. Le procédé de réduction thermique comprend le concassage et le broyage des sous-produits suivi d'un traitement thermique. La séparation de la graisse fondue (suif) du matériau solide se fait par centrifugation ou pressage. La fraction solide est normalement broyée pour en faire une farine de viande et d'os.

Généralement les émissions résultant des procédés de combustion associés à la réduction thermique (par exemple, les fours pour la génération de vapeur nécessaire au traitement thermique) ne contiennent pas de polluants organiques persistants, mais des

émissions odoriférantes, et des composés organiques volatiles peuvent être produits par diverses activités de réduction thermique.

La farine produite, qui est brûlée, peut donner lieu à des émissions de polluants organiques persistants. Dans l'Union Européenne de telles farines sont maintenant brûlées dans des installations d'incinération ou de co-incinération appropriées, ou bien enterrées.

2.2.4 Emissions de PCDD et de PCDF vers l'air

Pour des informations générales concernant les mécanismes de formation de PCDD et de PCDF, voir la section III.C (i) du présent document.

Comme exemple, les nouveaux incinérateurs de carcasses d'animaux au Royaume Uni doivent en général atteindre des niveaux d'émissions de PCDD/PCDF de moins de 0,1 ng TEQ/m³ normalisés à 11% d'oxygène, sec et à pression et température normales (0°C, 101,3 kPa)². Les nouveaux incinérateurs de faible capacité (moyenne de charge <50 kg/h) n'ont pas de limites d'émission mais ont une obligation de respecter un système d'agrément suivant le type d'unité. Pour obtenir cette agrément pour un type donné d'équipement, les directives de la réglementation exigent que le fabricant de l'incinérateur puisse démontrer que les machines fonctionnent à une température supérieure à 850°C avec un temps de résidence de 2 secondes. On peut aussi noter que les exigences seront vraisemblablement respectées par des installations qui disposent d'une chambre secondaire avec post-combustion.

Une étude sur les émissions des incinérateurs existants, à faible capacité, a été effectuée pour le DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) du Royaume Uni avant l'introduction des nouvelles règles; cette étude a mis en évidence l'existence des concentrations moyennes pour les PCDD/PCDF de 0,05–0,40 ng TEQ/m³ (AEA Technology 2002). Le suivi des rejets vers l'air dans le cas de deux unités vendues dans le commerce pour la crémation d'animaux sur les fermes, dans l'Ontario, Canada, a donné des concentrations moyennes de PCDD/PCDF dans une fourchette d'environ 0,0006 à 0,044 ng I-TEQ/Sm³ (Environment Canada 2004).

Il faut noter que l'incinération de faibles quantités de carcasses sur les fermes mêmes, est interdite dans plusieurs pays.

2.2.5 Rejets vers d'autres milieux

Les eaux de procédé, de surface, et de refroidissement peuvent être contaminées par des fluides des carcasses, des solides en suspension, des graisses et des huiles. Les carcasses, les cendres et les sous-produits peuvent être mis en décharge. Les déchets dont on assure l'élimination en décharges agréées ne créeront en principe pas de risques importants d'exposition pour la population; on considère que c'est l'air qui représente la voie principale pour de telles expositions.

3. Procédés conseillés

3.1 Revue des options d'élimination

Certains pays ont adopté une politique qui interdit l'enterrement d'animaux et de sous-produits.

Dans quelques pays des installations à haute capacité centralisées ont été utilisées pour l'élimination de carcasses; quelques pays ont interdit l'incinération de carcasses d'animaux sur les fermes. D'autres pays disposent d'une gamme de grandes installations, de petites installations (par exemple des incinérateurs sur la ferme) et de décharges. L'hydrolyse par digestion alcaline est utilisée dans plusieurs pays et fournit un moyen autre que l'incinération pour l'élimination des carcasses, ce qui est aussi le cas des fosses à chaux. Une autre méthode possible pour certains résidus d'animaux, qui ne fait pas appel à l'incinération, est la digestion anaérobie. Cependant il faudrait dans ces cas prendre bien soin des aspects touchant au contrôle des maladies. D'autres informations sur la digestion anaérobie se trouvent dans une revue faite par l'Université de l'Etat du Kansas (Erickson *et al.* 2004).

La mise en décharge n'éliminera pas les polluants organiques persistants qui peuvent être présents dans les carcasses mais devrait éviter qu'ils puissent poser un problème d'exposition pour l'homme.

L'approche qu'adopte un pays doit être le reflet de la nature spécifique et des circonstances de la production alimentaire, des abattoirs, et des activités de réduction thermique dans le pays (y compris l'infrastructure, les contraintes culturelles et les habitudes). Par exemple, des installations centralisées à grande échelle nécessitent une infrastructure de transport sophistiquée, pour réduire les risques liés au transport de matériaux potentiellement infectés ; également, une structure de coûts capable de supporter l'exploitation des installations

Pendant la destruction de carcasses d'animaux, la source principale d'émissions de substances chimiques inscrites à l'Annexe C, est l'incinération de carcasses ou de sous-produits (y compris de sous-produits venant de procédés de réduction thermique). Les installations pour la combustion de carcasses et de résidus de réduction thermique devraient donc être conçues pour tenir compte de l'exigence d'un four fonctionnant à 850°C, d'un temps de résidence de 2 secondes pour les gaz de combustion, et d'un excès d'air pour assurer la combustion complète. Il faut éviter d'utiliser des structures qui ne peuvent pas atteindre ces critères, à moins que l'on puisse démontrer qu'elles sont capables de fonctionner sans émissions significatives de polluants organiques persistants.

De plus grandes installations, comme celles qui doivent respecter la Directive sur la Prévention et le Contrôle Intégrés de la Pollution de l'UE, ou une législation équivalente sur la prévention de la pollution dans d'autres pays, devront être équipées de dispositifs importants de contrôles de la pollution de l'air, afin de répondre aux exigences d'émission pour d'autres polluants. Ces dispositifs pourraient comprendre, par exemple, la réduction sélective non-catalytique pour le contrôle du NOx, l'injection de chaux pour

le contrôle des gaz acides (SO₂ et HCl), l'injection de carbone pour le contrôle du mercure et des PCDD/PCDF, et la filtration sur tissu pour le contrôle des poussières.

Il n'y a que peu de chances que des installations de plus petite taille aient un impact significatif au niveau national ou local sur la qualité de l'air. Dans de tels cas il sera suffisant d'adapter les températures des fours et les temps de résidence pour assurer un bon contrôle des émissions de polluants organiques persistants.

3.2 Meilleures techniques disponibles

On considère que les meilleures techniques disponibles couvrent la technologie, la gestion et les paramètres d'opération ; le contrôle des émissions de polluants organiques persistants comprendrait les mesures suivantes:

- Un four de combustion qui répond aux critères de température minimale, de temps de résidence et d'oxygène, et dont la performance aurait été vérifiée;
- Un dispositif de contrôle de la pollution de l'air, avec gestion de la température pour contrôler le temps de résidence dans la fenêtre de reformation, injection de carbone, et filtration sur tissu ou équivalent;
- Conception du système d'introduction des déchets pour minimiser les effets de nouvelles charges introduites (les déchets devront être macérés et envoyés vers le four à travers un système étanche);
- Les chambres de combustion et les caissons devront être aussi étanches que possibles et fonctionner à pression réduite pour minimiser les rejets des gaz du four;
- Suivi des températures des gaz pour permettre aux systèmes de contrôle de respecter les critères de températures minimales (par l'utilisation de brûleurs d'appoint) et de fournir un verrouillage pour couper l'alimentation de déchets quand la température tombe un dessous d'un minimum;
- Les niveaux de l'oxygène et du monoxyde de carbone dans les gaz de combustion devront être suivis et reliés au système de contrôle pour assurer un contrôle suffisant des apports en oxygène et répondre à tout problème de combustion;
- Les combustibles d'appoint ne devront pas être dérivés de déchets à moins que l'on ait démontré qu'ils ne produisent pas davantage de polluants organiques persistants que le font le gaz, le fioul, ou autre combustible propre;
- Des locaux désignés à sol dur avec un drainage approprié pour le chargement, le déchargement, et le lavage de conteneurs, pour faciliter le nettoyage et la désinfection. Tenir compte d'un besoin éventuel d'une incinération pour les eaux de lavage afin de contrôler les pathogènes;
- Chargement et manutention des déchets exécutés mécaniquement afin de réduire les risques d'exposition pour les opérateurs;
- Les petites unités d'incinérations (lorsque celles-ci sont autorisées) devront être placées sur une dalle en béton, et être situées à au moins 100 mètres de tout

puits, source, ou cours d'eau. De la même manière de telles unités devront être placées au moins à 6 mètres de tout bâtiment et structure ayant un risque de s'enflammer;

- Le stockage de déchets devra être fait dans des unités réfrigérées, fermées à clef et résistantes aux rongeurs et aux oiseaux; prévoir également un contrôle des odeurs;
- L'utilisation des sacs en plastique pour contenir les déchets devra être minimisée; étudier la possibilité d'utiliser des bennes, ce qui évitera la nécessité de contact avec des restes d'animaux;
- Les cendres récupérées seront placées dans des fûts de transport scellés, des bennes couvertes et des conteneurs scellés afin d'éviter la libération intempestive de poussières (en particulier des résidus du contrôle de la pollution de l'air). Les cendres seront envoyées dans une décharge appropriée;
- La gestion de déchets à l'arrivée, et consignation sur cahier de tout mouvement;
- Contrôle effectif du fonctionnement, de l'inspection, et de l'entretien préventif de composants dont la défaillance pourrait affecter l'environnement par le rejet de polluants organiques persistants;
- Analyse des compétences des opérateurs, et mise en place de formations appropriées;
- Application de valeurs limites pour les émissions, et suivi des émissions pour vérifier que les normes soient respectées;
- Elimination des cendres et des résidus par mise en décharge.

On n'a pas considéré ici les meilleures techniques disponibles pour les autres polluants et il faut tenir compte du fait que d'autres facteurs pourraient aussi avoir un effet sur la définition de ce qui constitue les meilleures techniques disponibles pour une installation donnée (par exemple, facteurs liés à l'utilisation de l'eau, et de l'énergie).

3.3 Meilleures pratiques environnementales

Les pays qui visent à mettre en place un système d'incinération, devront d'abord chercher à développer des installations pour l'incinération de carcasses et de sous-produits animaliers qui sont capables de répondre aux critères : température minimale du four, temps de résidence et concentration d'oxygène. Il faut noter qu'il est possible qu'un équipement pour le contrôle de la pollution de l'air soit nécessaire afin de respecter la réglementation locale sur les émissions et la qualité de l'air, autres que celle concernant les polluants organiques persistants.

Lorsqu'il existe des équipements pour la récupération de chaleur ou le contrôle de la pollution de l'air, la conception de tels équipements devrait tenir compte de la possibilité de réactions *de novo* menant à la formation de PCDD/PCDF, en réduisant au minimum le temps de résidence de matériau dans la fenêtre de reformation. Il faudrait démontrer, par des mesures lors de la mise en marche, que les émissions de telles installations ne contiennent aucun polluant organique persistant.

Les installations utilisées pour la co-incinération de déchets (par exemple, le suif ou la farine animal dans les fours à ciment) devront être évaluées pour vérifier que les critères de température minimale du four, de temps de résidence et d'oxygène sont respectés; les émissions devront être contrôlées pour assurer qu'elles sont en conformité avec la législation. Les émissions venant de la co-incinération de déchets d'animaux ne devront pas être plus polluantes que celles résultant du fonctionnement du procédé sans incinération de déchets.

Dans le cas des très petites installations d'incinération (<50 kg/h) les émissions de polluants organiques persistants peuvent être contrôlées en utilisant des fours qui ont été contrôlés, et trouvés capables (par exemple à la suite d'une procédure d'agrémentation) de fonctionner en respectant les critères de température minimale du four, et de temps de résidence. De plus, le fonctionnement devra être sans génération de fumée, et les procédures pour le chargement et le fonctionnement devront être synchronisées pour s'assurer que le matériau ne puisse pas être brûlé avant que la chambre secondaire n'atteigne la température minimale requise. Dans de tels cas, il semble difficile de justifier les coûts nécessaires pour assurer les mesures des émissions.

Il ne faudrait pas considérer l'utilisation de bûchers comme une meilleure pratique environnementale. Si on les utilise, il faudrait prendre soin d'éviter des combustibles comme des bois traités ou autres combustibles contenant des matériaux qui pourraient mener au rejet de polluants organiques persistants. Seules quelques données mesurées (Sinclair Knight Merz 2005) indiquent que les incinérateurs à rideau d'air peuvent donner lieu à des émissions, par carcasse, similaires à de petits incinérateurs, mais les quantités totales de combustible et de carcasses (et donc des émissions totales possibles) sont bien plus élevées que pour de petits incinérateurs. Leur utilisation ne devra donc pas être considérée comme une meilleure pratique environnementale, sauf peut-être si cela fait partie d'une stratégie ciblée de contrôle de maladie.

Une alternative à l'incinération est l'utilisation de techniques de digestion, et de décharges bien configurées et bien gérée.

4. Mesures primaires et secondaires

4.1 Mesures primaires

On considère que les mesures primaires sont des techniques qui réduisent ou évitent la formation de polluants organiques persistants. Des mesures possibles comprennent:

4.1.1 Conception du four

Le four devra fournir des conditions permettant de maintenir une température de 850°C pendant toute la période de chargement, de combustion, et de décharge des carcasses avec un temps de résidence des gaz de 2 secondes et avec suffisamment d'oxygène pour assurer la destruction de tout polluant organique persistant qui pourrait encore être présent.

Il est probable qu'une seconde chambre de combustion sera nécessaire, avec post-combustion et/ou injection d'air pour respecter ces critères. Il faudra prendre soin en particulier pour assurer un bon dimensionnement de la chambre secondaire et du volume de qualification (le volume en aval du dernier point d'injection de combustible ou d'air de combustion, avec une température minimale des gaz de 850°C dans tout ce volume).

Idéalement, le four devrait être conçu pour permettre un fonctionnement en continu (c'est à dire, avec une alimentation continue dans le four, et enlèvement automatique des cendres) pour réduire au minimum des problèmes d'opération qui pourraient mener à la formation de polluants organiques persistants. Une opération en continu demande une macération préalable des matériaux solides pour assurer un produit homogène et constant. Il est cependant reconnu que pour les installations plus petites et des unités traitant des carcasses entières, une opération en continu ne sera peut être pas appropriée. Il est nécessaire que la conception du four permette une combustion totale du matériau (faible teneur en carbone dans les cendres).

Lorsque une co-incinération est proposée, les mêmes critères devront être adoptés pour la température du four et le temps de résidence

4.1.2 Charge d'alimentation

Il faudra éviter au maximum la présence de plastiques et autres contaminants (en particulier des produits chlorés) dans la charge d'alimentation afin de réduire les chances de génération de polluants organiques persistants pendant une combustion incomplète ou par une synthèse *de novo*. Il est reconnu que l'utilisation de sacs en plastique, ou en matériaux similaires, est nécessaire pour l'hygiène des opérateurs et des animaux. Leur utilisation devra cependant être minimisée par l'utilisation de dispositifs d'alimentation mécanisés et automatiques.

Il faut reconnaître qu'il sera peut être nécessaire de classer les carcasses et les sous-produits en fonction de leur origine (par exemple, des matériaux présentant un risque spécifique).

Les méthodes à prendre en considération comprennent:

- L'utilisation de machines de chargement mécanisées pour éviter un contact direct avec les carcasses;
- L'utilisation de techniques de macération et de broyage, pour permettre le chargement et l'opération d'être automatiques et en continu;
- La minimisation de contamination provenant de l'emballage, y compris de plastiques non halogénés.

4.1.3 Combustibles

L'utilisation de combustibles propres est conseillée pour le démarrage, les brûleurs d'appoint et les unités de post-combustion. Les unités plus grandes devront viser à assurer une combustion autonome dans le four afin de minimiser la consommation de combustible. L'utilisation de combustibles dérivés de déchets, ou d'autres combustibles

potentiellement pollués par des polluants organiques persistants, devrait être maintenue à un strict minimum ; on ne les utilisera pas, ni pendant le démarrage, ni pendant des anomalies de fonctionnement du procédé, quand les températures pourraient descendre en dessous de 850°C et les conditions pourraient devenir instables.

4.1.4 Contrôle effectif du procédé

Des systèmes de contrôle du procédé devraient être utilisés pour assurer une bonne stabilité de fonctionnement et des niveaux des paramètres qui contribueront à minimiser la formation de polluants organiques persistants, par exemple, de maintenir la température du four au dessus de 850°C pour détruire de tels polluants. Idéalement, on suivra les émissions des polluants organiques persistants en continu pour garantir des rejets aussi faibles que possible. Des variables telles que la température, le temps de résidence, et les niveaux de CO, de composés organiques volatiles, et d'autres gaz devront être suivies en continu, et maintenues, pour assurer des conditions optimales de fonctionnement.

4.1.5 Compétences des opérateurs

La gestion de l'installation est la clef pour garantir un fonctionnement sûr et sans impact sur l'environnement. Tout le personnel responsable du fonctionnement de l'unité devra être bien au courant du rôle qu'ils jouent, en particulier en ce qui concerne le fonctionnement de base de l'unité, l'entretien, le contrôle des maladies, les anomalies possibles dans le procédé, et la réglementation locale sur environnement. Les compétences des opérateurs seront assurées et entretenues en permanence par des cours de formation adaptés au niveau technique de l'installation.

4.2 Mesures secondaires

Les mesures secondaires sont des techniques de contrôle de la pollution. Ces méthodes n'empêchent pas la formation de contaminants, mais servent à contenir et éviter les émissions.

4.2.1 Captage des fumées et des gaz

Les émissions d'air devront être contrôlées à toutes les étapes du procédé, y compris pendant la manutention de matériaux, la combustion, et les points de transfert des matériaux afin de contrôler les émissions de polluants organiques persistants. Des fours scellés sont essentiels pour contenir toute émission par fuite, tout en permettant la récupération de chaleur, ainsi que des gaz émis, pour leur traitement ou rejet. Il est impératif d'avoir une bonne configuration des hottes et tuyauteries pour minimiser les rejets par fuite. Des bennes scellées ou des systèmes d'alimentation fermés peuvent être utilisés, et peuvent réduire de manière significative les émissions dues aux fuites vers l'air, en contenant les émissions pendant le chargement.

4.2.2 Equipement de contrôle de la pollution de l'air

Les grandes installations devraient employer une gamme d'équipement de contrôle de la pollution de l'air afin de fournir un contrôle de toutes les émissions significatives vers

l'atmosphère. En faisant attention à la sélection, la conception et l'utilisation d'équipement pour le contrôle de l'air on réduira aussi, en général, les émissions des polluants organiques persistants. La configuration doit tenir compte de la possibilité d'une formation *de novo* de certains polluants organiques persistants, et doit minimiser la possibilité d'une telle formation. Les matières particulaires devront être récupérées pour réduire les émissions de PCDD/PCDF vers l'atmosphère (mais elles seront envoyées à la décharge). Les filtres en tissu représentent une technique efficace mais sont essentiellement des dispositifs opérant à basse température (jusqu'à 200°C).

Pour de petites installations d'incinération, il est probablement suffisant d'avoir une postcombustion pour contrôler les émissions de polluants organiques persistants; on ne considère pas qu'un traitement des poussières soit nécessaire.

Il faut suivre régulièrement les opérations de contrôle de la pollution de l'air à l'aide de dispositifs capables de détecter des défaillances. D'autres développements plus récents comprennent des méthodes de nettoyage en ligne, et l'utilisation de revêtements catalytiques pour détruire les PCDD/PCDF.

Un traitement au charbon actif peut être envisagé pour l'élimination de polluants organiques persistants dans les gaz de combustion. Les charbons actifs possèdent une grande surface spécifique sur laquelle les PCDD/PCDF peuvent être adsorbés. Les gaz produits peuvent être traités à l'aide de charbon actif dans des réacteurs à lit fixe ou mobile, ou par injection de particules de carbone dans le flux des gaz, suivi de l'élimination de la poussière par des systèmes à haut rendement tels que les filtres à tissu.

5. Résumé des mesures

Les Tableaux 2 et 3 résument les mesures présentées dans les sections précédentes.

■ **Tableau 2. Mesures concernant les procédés conseillés pour de nouveaux incinérateurs de carcasses d'animaux**

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Procédés conseillés	Grands (>50 kg/h) incinérateurs et co-incinérateurs	Minimum 850°C, temps de résidence de 2 sec. dans le volume de qualification avec suffisamment d'air pour assurer la destruction de polluants organique persistants. Equiper de dispositifs de contrôle de l'air pour minimiser les émissions de SO ₂ , HCl, CO, composés organiques volatiles, poussières et polluants organiques persistants	Celles-ci sont considérées comme étant les meilleures techniques disponibles. Il faut également avoir en place des systèmes de gestion, une démonstration que l'installation atteint les niveaux des limites d'émission, et un suivi régulier pour assurer le respect de la réglementation
	Petits (<50 kg/h) incinérateurs	Minimum 850°C, temps de résidence de 2 secs. dans le volume de qualification avec suffisamment d'air pour assurer la destruction des polluants organiques persistants	Pour les plus petites installations, ces conditions sont les minima requises pour répondre au problème de polluants organiques persistants. Pourraient être adoptées en utilisant un mécanisme d'agrément selon le type d'équipement, et aussi une inspection de la gestion de l'installation (plutôt que des tests coûteux sur les émissions)

■ **Tableau 3. Résumé des mesures primaires et secondaires pour la destruction de carcasses d'animaux**

Mesures	Description	Considérations	Autres commentaires
Mesures primaires			
Conception du four			Le meilleur endroit pour maximiser la destruction des polluants organiques persistants et pour minimiser leur formation
Contrôle des matériaux d'alimentation	La présence de plastiques et de produits chlorés dans les matières premières devra être minimisée à un niveau compatible avec une bonne hygiène afin de réduire la formation de polluants organiques persistants pendant une combustion incomplète ou par une synthèse <i>in novo</i>	Élimination des plastiques, utiliser un maximum de manutention mécanique	Technologie peu avancée
Combustible	Combustibles propres pour l'appoint		
Contrôle effectif du procédé	Nécessité d'utiliser des systèmes de contrôle du procédé pour entretenir une bonne stabilité du procédé et fonctionner avec des paramètres qui contribueront à la minimisation des émissions des polluants organiques persistants	Les émissions de PCDD/PCDF peuvent être minimisées en contrôlant d'autres variables telles que la température, le temps de résidence, les composants du gaz	La température est un paramètre de contrôle important pour le contrôle du procédé. Le suivi de l'oxygène, du CO et des composés organiques volatiles est plus complexe mais facile à mettre en œuvre. Le vrai problème est cependant l'utilisation d'un système de contrôle capable d'utiliser des données en temps réel, pour gérer les clapets d'arrivée d'air de combustion, les brûleurs d'appoint et les autres dispositifs de contrôle

Mesures	Description	Considérations	Autres commentaires
Mesures secondaires			
Captage de fumées et des gaz	Rétention efficace des gaz du four dans toutes les conditions d'opération de l'incinération pour éviter des fuites	Les procédés à prendre en considération comprennent des fours scellés pour retenir les émissions fugitives tout en permettant la récupération de chaleur et le captage des gaz perdus	
Equipements de contrôle de la pollution de l'air	La réduction des poussières contribuera à réduire les risques d'émission de polluants organiques persistants. Il est utile de considérer un traitement au charbon actif car ce matériau possède une grande surface spécifique sur laquelle les PCDD/PCDF peuvent être adsorbés à partir des gaz de combustion	La filtration sur tissu est la méthode la plus efficace pour extraire les poussières, et est compatible avec l'utilisation d'absorbants secs ou demi-secs pour le contrôle des gaz acides et des métaux. Il nécessite cependant un abaissement de la température. Injection de charbon actif en poudre dans le flux de gaz, suivi de son extraction sur filtre à poussière.	L'utilisation de dispositifs pour contrôler la pollution de l'air donne lieu à des flux additionnels de déchets, et demande des consommables. Nécessité probable d'avoir à réduire la température des gaz de combustion (pour éviter l'utilisation de matériaux pour filtres plus exotiques); soin à prendre donc pour minimiser le temps de résidence dans la fenêtre de re-formation. C'est préférable d'éviter la formation de polluants organiques persistants dans le four. Cette approche fournit cependant une certaine sécurité en réserve dans le cas de problèmes dans le fonctionnement du procédé; elle est considérée en Europe comme étant une meilleure technologie disponible pour les procédés d'incinération. La plupart des équipements de contrôle de la pollution de l'air sont coûteux à l'achat et au fonctionnement, et les pièces de rechange sont chères.

6. Niveaux de performance possibles

Les niveaux de performance pour les émissions de PDDPCDF dans l'air, associés aux meilleures techniques disponibles sont <0,1 ng I-TEQ/Nm³, à 11% d'oxygène, sec avec température et pression standard (0°C, 101,33 kPa). Pour d'autres informations, voir European Commission 2003.

Références

AEA Technology. 2002. *Atmospheric Emissions from Small Carcass Incinerators*. Report for the Department for Environment, Food and Rural Affairs, United Kingdom.

Anderson I. 2002. *Foot and Mouth Disease 2001: Lessons to be Learnt Inquiry Report*. Stationery Office, London.

Environment Canada. 2004. *Characterization of emissions from an animal crematorium Burn easy Model 37-1 and EcoWaste CleanAire*. ERMD 2003-04 Unpublished reports. March 2004

EPA (United States Environmental Protection Agency). 1995. *Meat Rendering Plants*. Emission Factor Documentation for Background Report AP-42, Section 9.5.3. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, Emission Factor and Inventory Group, Washington, D.C.

Erickson L. Fayet E. Kakumau B. Davis (2004) *Carcass Disposal: A Comprehensive Review*, National Agricultural Biosecurity Centre, Kansas State University, Chapter Seven - Anaerobic digestion.

European Commission. 2003. *Reference Document on Best Available Techniques in the Slaughterhouses and Animal By-products Industries*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. Eippcb.jrc.es.

NAEI (National Atmospheric Emissions Inventory). *Emission Factors Database*. DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs). www.naei.org.uk/emissions/index.php.

Sinclair Knight Merz. 2005. *Air Curtain Incinerator Trial Report*. Report for New Zealand Ministry of Agriculture and Forestry.

Notes

¹ Les polluants organiques persistants qui sont déposés dans les pâturages, et ceux présents dans l'alimentation animale peuvent être ingérés puis accumulés par les animaux pendant toute leur vie.

² 1 ng (nanogramme) = 1 10⁻¹² kilogramme (1 x 10⁻⁹ gramme). Pour des informations sur les mesures de toxicité voir la section I.C. sous-section 3 du présent guide



<http://www.pops.int>

UNEP/SSC/BATBEP/2008/14

Section V.I.M
Section V.I.L
Section V.I.K
Section V.I.J
Section V.I.I
Section V.I.H
Section V.I.G
Section V.I.F
Section V.I.E
Section V.I.D
Section V.I.C
Section V.I.B
Section V.I.A
Section V.D
Section V.C
Section V.B
Section V.A
Sections I-IV

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

**La teinture de textiles ou du cuir (au chloranile)
et la finition (extraction alcaline)**



Le contenu de cette publication peut être reproduit à des fins éducatives ou sans but lucratif, dans son intégralité ou en partie, quelque soit le format, sans autre permission spéciale, pourvu que la source soit parfaitement identifiée. Le Secrétariat de la Convention de Stockholm et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) souhaiteraient recevoir une copie de tout ouvrage utilisant cette publication comme référence. Cette publication ne peut faire l'objet de revente ou toute autre activité commerciale sans l'accord préalable et par écrit du PNUE.

Publiée par le Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en octobre 2008. Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser au:

Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Genève, Suisse
ssc@pops.int - www.pops.int

Mise en page et impression par: SRO-Kundig - Genève

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

T A B L E D E S M A T I È R E S

SECTION I: INTRODUCTION

- I.A** OBJECTIF
- I.B** STRUCTURE DU DOCUMENT ET UTILISATION DES DIRECTIVES ET CONSEILS
- I.C** PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C: DÉFINITIONS, RISQUES, TOXICITÉ
- I.D** ARTICLE 5 ET L'ANNEXE C DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- I.E** LIEN AVEC LA CONVENTION DE BÂLE
- I.F** LIEN AVEC D'AUTRES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

SECTION II: CONSIDÉRATIONS D'ALTERNATIVES DANS L'APPLICATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

- II.A** CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES DANS LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- II.B** LA CONVENTION DE STOCKHOLM ET LES SOURCES NOUVELLES
- II.C** UNE APPROCHE À LA CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES
- II.D** AUTRES CONSIDÉRATIONS DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM

SECTION III: MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES: DIRECTIVES, PRINCIPES ET CONSIDÉRATIONS CROISÉES

- III.A** DIRECTIVES
- III.B** PRINCIPES ET APPROCHES GÉNÉRAUX
- III.C** CONSIDÉRATIONS CROISÉES:
 - (i) PRODUITS CHIMIQUES DE L'ANNEXE C: MÉCANISMES DE FORMATION
 - (ii) CONSIDÉRATIONS SUR LA GESTION DES DÉCHETS
 - (iii) EFFETS BÉNÉFIQUES ADDITIONNELS DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LES PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C
 - (iv) GESTION DES GAZ DE PROCÉDÉ ET D'AUTRES RÉSIDUS
 - (v) FORMATION DES DÉCIDEURS ET DU PERSONNEL TECHNIQUE
 - (vi) MESURES, SUIVI ET PRÉSENTATIONS DES RAPPORTS

SECTION IV: COMPILATION DES RÉSUMÉS DES CATÉGORIES DES SOURCES INCLUSES DANS LES SECTIONS V ET VI

RESUMES DE LA SECTION V: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

RESUMES DE LA SECTION VI: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

SECTION V: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DE SOURCES: CATEGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

- V.A** LES INCINÉRATEURS DE DÉCHETS
- (i) DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, DÉCHETS DANGEREUX ET DE BOUES D'ÉPURATION
 - (ii) DECHET MEDICAUX
- V.B** LE BRULAGE DE DÉCHETS DANGEREUX DANS LES FOURS A CIMENT
- V.C** LA PRODUCTION DE PÂTE À PAPIER UTILISANT LE CHLORE ÉLÉMENTAIRE, OU DES SUBSTANCES CHIMIQUES GÉNÉRANT DU CHLORE ÉLÉMENTAIRE
- V.D** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
- (i) PRODUCTION DU CUIVRE SECONDAIRE
 - (ii) USINES DE FRITTAGE DANS L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER
 - (iii) PRODUCTION D'ALUMINIUM SECONDAIRE
 - (iv) PRODUCTION DU ZINC SECONDAIRE

SECTION VI: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DES SOURCES: CATÉGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

- VI.A** LA COMBUSTION À CIEL OUVERT DE DÉCHETS, Y COMPRIS DANS LES DÉCHARGES
- VI.B** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE AUTRES QUE CEUX MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE C PARTIE II
- (i) PRODUCTION DU PLOMB SECONDAIRE
 - (ii) PRODUCTION D'ALUMINIUM PRIMAIRE
 - (iii) PRODUCTION DE MAGNESIUM
 - (iv) PRODUCTION D'ACIER SECONDAIRE
 - (v) PREMIERE FUSION DES METAUX DE BASE

VI.C	LES SOURCES DE COMBUSTION RÉSIDENTIELLES
VI.D	LA COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES DANS DES CHAUDIÈRES DE CENTRALES ET LES CHAUDIÈRES INDUSTRIELLES
VI.E	LES INSTALLATIONS DE BRÛLAGE DE BOIS ET DE COMBUSTIBLES ISSUS DE LA BIOMASSE
VI.F	LES PROCÉDÉS SPÉCIFIQUES DE PRODUCTION DE SUBSTANCES CHIMIQUES ENTRAÎNANT DES REJETS DE SUBSTANCES INSCRITES À L'ANNEXE C
VI.G	LES FOURS CRÉMATOIRES
VI.H	LES VÉHICULES À MOTEUR, NOTAMMENT CEUX UTILISANT DE L'ESSENCE AU PLOMB
VI.I	LA DESTRUCTION DE CARCASSES D'ANIMAUX
VI.J	LA TEINTURE DE TEXTILES OU DU CUIR (AU CHLORANILE) ET LA FINITION (EXTRACTION ALCALINE)
VI.K	LES INSTALLATIONS DE BROYAGE DES ÉPAVES DE VÉHICULES
VI.L	LE CHAUFFAGE LENT DE CÂBLES EN CUIVRE
VI.M	LES RAFFINERIES D'HUILES USÉES

Section VI.J

Directives/conseils par catégorie des sources:
Catégories des sources dans la Partie III de l'Annexe C

**Partie III Catégorie de source (j):
La teinture de textiles ou du cuir (au chloranile) et la finition
(extraction alcaline)**

T A B L E D E S M A T I È R E S

VI.J	La teinture de textiles ou du cuir (au chloranile) et la finition (extraction alcaline)	9
1.	L'industrie textile	9
1.1	Introduction	9
1.2	Description des procédés	10
1.3	Sources de produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm.....	10
2.	Traitement du cuir.....	13
2.1	Introduction	13
2.2	Description des procédés	13
2.3	Sources de substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm.....	13
3.	Concentrations de PCDD/PCDF dans les produits chimiques utilisés dans les chaînes de production pour le textile et le cuir	14
4.	Meilleures techniques disponibles et meilleures pratiques environnementales	14
5.	Alternatives	15
6.	Mesures de suivi.....	16
	Références	16
Tableaux		
	Tableau 1. Concentrations de PCDD/PCDF dans les biocides, et les colorants et pigments.....	14



VI.J La teinture de textiles ou du cuir (au chloranile) et la finition (extraction alcaline)

■ Résumé

Il a été mis en évidence des contaminations aux PCDD et PCDF dans des produits textiles et à base de cuir. La présence de PCDD/PCDF dans les industries du textile et du cuir est due à l'utilisation de produits chimiques chlorés, en particulier le pentachlorophénol et le chloronitrofen, pour protéger la matière première (coton, laine ou autres fibres, cuir); et l'utilisation de colorants contaminés aux dioxines (dioxazines ou phtalocyanines). De plus petites quantités de PCDD/PCDF peuvent se former pendant la finition et pendant l'incinération de boues générées pendant les procédés.

Il existe des alternatives aux pigments colorants cités plus haut et ces derniers ne devraient donc pas être utilisés.

Des alternatives possibles au pentachlorophénol et au chloronitrofen comprennent : le 2-(thiocyanométhylthio) benzothiazole (TCMTB); l'*o*-phénylphénol (oPP); le 4-chloro-3-méthylphénol (CMK); et le 2-*n*-octyl-4-isothiazolin-3-one (OIT).

Concernant les meilleures techniques disponibles, la mesure primaire la plus efficace pour éviter la contamination des produits textiles et cuirs par les PCDD/PCDF serait de ne pas utiliser de biocides et de colorants contaminés aux dioxines dans les chaînes de fabrication. Egalement, si des produits chimiques mentionnés ci-dessus sont utilisés, une préférence devrait être donnée à des lots contenant des concentrations faibles de contamination (par exemple, des produits distillés ou autrement purifiés). Autant que possible, on ne doit pas brûler des produits textiles, des tapisseries, des produits à base de cuir et des tapis afin d'éviter la formation de PCDD/PCDF.

Afin d'empêcher ou de minimiser la formation et le rejet de PCDD/PCDF, en brûlant des boues provenant du traitement des eaux usées et de sédimentation, des meilleures techniques disponibles devraient être appliquées telles que décrit à la section VI.D des présentes directives (chaudières industrielles). Cependant on devrait aussi considérer d'autres techniques écologiquement rationnelles.

1. L'industrie textile

1.1 Introduction

L'industrie textile possède une des plus compliquées des chaînes de production. L'industrie est très éparpillée et hétérogène, dominée par de petites et moyennes entreprises; en l'an 2000 dans l'Union Européenne par exemple, 114'000 sociétés employaient environ 2,2 millions de personnes (European Commission 2003b). La demande pour les textiles est surtout sollicitée par trois classes de produits: l'habillement, les tissus pour la maison et les utilisations industrielles.

La chaîne du textile et de l'habillement est composé d'un grand nombre de sous-secteurs qui couvrent le cycle complet de production allant de la fabrication de matières premières (fibres artificielles) à des produits semi-finis (fils, étoffes tissées et tricotées avec leurs procédés de finition) et les produits finaux ou de grande consommation (tapis, textiles pour la maison, habillement et textiles à usage industriel).

1.2 Description de procédés

Les étoffes tissées et tricotées ne peuvent pas être traitées pour en faire des produits finis avant que les tissus aient subi plusieurs étapes de traitement humide (appelées aussi finition) consommant de grandes quantités d'eau, telles que la préparation du tissé, la teinture, l'impression et la finition. Les fibres naturelles demandent plus d'étapes de traitement que les fibres artificielles. Des quantités relativement importantes d'effluents aqueux sont générées, contenant une grande variété de contaminants qui doivent être traités avant d'être éliminés. Des quantités significatives d'énergie sont utilisées pour le chauffage et le refroidissement des bains chimiques, et pour le séchage des étoffes et les fils.

La préparation des étoffes comprend le désencollage, l'écurage, et le blanchiment aussi bien que le flamage et le mercerisage. Les opérations de teinture sont mises en œuvre à divers points de la fabrication afin d'ajouter de la couleur et de la complexité aux textiles pour leur donner de la valeur. Les colorants utilisés dans l'industrie textile sont essentiellement synthétiques. La finition fait appel à des traitements chimiques ou mécaniques (EPA 1997).

Les soucis principaux sur le plan de l'environnement, dans l'industrie textile, concernent les quantités d'eau qui sont rejetées, et la charge chimique que porte cette eau. D'autres facteurs importants sont la consommation d'énergie, les déchets solides et les odeurs.

Bien qu'il y ait une multitude d'étapes dans la chaîne de production, et qu'il existe des soucis environnementaux, la formation de dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD) et de dibenzofuranes polychlorés (PCDF) ne peut pas être associée à une seule étape de la production.

Plutôt, il faut porter plus d'attention au fait que les PCDD/PCDF entrent dans les procédés de production textile par l'application de pesticides et colorants contaminés aux PCDD/PCDF et que la contamination aux PCDD/PCDF se transporte à travers les différentes étapes de la chaîne de production. En fonction des étapes individuelles, des solvants utilisés et de l'environnement physique, les PCDD/PCDF, soit restent dans le produit textile, soit sont rejetés en tant que déchets.

1.3 Sources de produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm

Dans la chaîne de production des textiles, les procédés de finition ne sont pas en général des sources de formation de PCDD/PCDF (Horstmann *et al.* 1993). Il semble que ce soit plutôt l'utilisation de colorants et de pigments contenant des PCDD/PCDF, ainsi que l'utilisation dans certains pays de fongicides contaminés aux PCDD/PCDF pour traiter des matières premières brutes, telles que le coton, qui soient responsables de la formation des PCDD/PCDF détectés.

Il est possible que des PCDD/PCDF soient formés dans la chaîne de production textile où les effluents sont traités et où la boue est séparée pour être incinérée. De telles unités sont généralement considérées comme étant modernes.

Les mesures qui constituent les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales se focaliseront donc sur:

- La contamination aux PCDD/PCDF par l'introduction des produits chimiques contaminés aux dioxines dans la chaîne de fabrication textile;
- Une nouvelle formation de PCDD/PCDF dans des opérations thermiques d'élimination de déchets propres à la fabrication.

1.3.1 Contaminations aux PCDD/PCDF par des produits chimiques contaminés aux dioxines

Des produits chimiques connus pour être contaminés aux PCDD/PCDF sont utilisés pour les deux applications et comprennent les substances citées ci-dessous (European Commission 2003b):

- Des défoliants ou fongicides: le pentachlorophénol et le 2,4,6-trichlorophényl-4'-nitrophényl éther¹ (chloronitrofen);
- Des colorants: dioxazines basés sur le chloranile, et ceux basés sur le phtalocyanine.

Des résultats d'analyses de textiles d'origines différentes et de fibres diverses ont indiqué très clairement que le pentachlorophénol a été utilisé dans leur élaboration, et l'est peut-être encore aujourd'hui en tant que biocide pour les matières premières, en particulier le coton. Le schéma des PCDD/PCDF montre clairement que c'est le pentachlorophénol qui est la source majeure de PCDD/PCDF dans les textiles.

Bien qu'aucune information publiée n'ait pu être trouvée indiquant que le chloronitrofen est utilisé dans l'industrie textile, une telle utilisation ne peut être exclue puisque ce produit a remplacé le pentachlorophénol dans beaucoup d'applications (Masunaga, Takasuga and Nakanishi 2001; UNEP 2003).

1.3.2 Formation de PCDD/PCDF dans les opérations d'élimination thermique

Il existe plusieurs étapes dans la chaîne de production de textiles où les eaux usées ou les effluents génèrent des boues qui sont incinérées, par exemple, à partir d'effluents évaporés dans le procédé de récurage de la laine, de l'eau de décharge contenant des pâtes d'impression à pigment ou des latex de doublure de tapis. Comme dans tout procédé d'incinération, les PCDD/PCDF peuvent être formés car ces boues contiennent des quantités relativement élevées de chlorures aussi bien que du chlore organique venant des ectoparasitocides tels que le -hexachlorocyclohexane (-HCH, lindane), dieldrine ou DDT qui ont été appliqués aux matières premières (en particulier le bois) (European Commission 2003b; UNEP 2003).

Au sujet de l'utilisation probable de lindane, de dieldrine et de DDT, tous les grands pays ont interdit l'utilisation de pesticides organochlorés pour le traitement des moutons,

mais il y a des indications que le lindane soit présent à des concentrations détectables dans des laines provenant de certains pays de ex-Union Soviétique et de l'Amérique du Sud (European Commission 2003b).

Finalement, des retardateurs de combustion tels que les diphényles éthers polybromés et les paraffines chlorées (chloroparaffines C_{10-13}) sont utilisés dans l'industrie textile. Tous les retardateurs de combustion sont impliqués dans la formation de PCDD/PCDF lorsqu'ils sont incinérés (European Commission 2003b).

Si le circuit d'enlèvement de saletés et de récupération de graisses est combiné avec l'évaporation de l'effluent et l'incinération des boues, avec un recyclage complet de l'eau et de l'énergie, des avantages environnementaux supplémentaires en résultent en termes d'économie d'eau et de réduction des quantités de déchets solides à éliminer. La température de l'incinérateur pour les boues sera de l'ordre de 1'200°C afin de détruire les PCDD/PCDF. Des filtres à manches seront utilisés pour éliminer les cendres volantes. Dans les émissions gazeuses d'une telle unité de circuit intégré pour l'enlèvement de la saleté et la récupération des graisses, on a détecté 0,02 ng TEQ/Nm³ (European Commission 2003b, p. 278)². Cependant, cette technologie est complexe et a la réputation de nécessiter des coûts d'investissement très élevés, et des coûts de fonctionnement assez élevés.

On peut aussi utiliser un incinérateur lorsque de la boue d'une opération de décantation est essorée puis régénérée thermiquement dans un four rotatif. Les gaz de combustion sont brûlés dans une unité de postcombustion (environ 850°C) et rejetés vers l'atmosphère à une température de 120°C. Dans les effluents gazeux provenant de l'unité pour la régénération du coke dérivé du lignite, dans l'installation pour les boues, on a trouvé des concentrations de 0,004 ng I-TEQ/Nm³ (à 11% O₂) (European Commission 2003b, p. 415–417).

Des exemples provenant de différents pays, au sujet des boues générées par le traitement des eaux usées du procédé de récurage de laine, comprennent:

- Utilisation de la boue dans la fabrication de briques (mélangée à des argiles) ou adoption de tout autre chemin de recyclage approprié;
- Incinération de la boue avec récupération de chaleur, à condition que l'on prenne des mesures pour contrôler ou éviter des émissions de PCDD/PCDF dues à du chlore organique provenant de pesticides qui pourraient se trouver dans la boue.

Pour de plus amples informations, les directives relatives aux meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales élaborées pour les chaudières industrielles de récupération devront être consultées (section VI.D de ces directives).

2. Traitement du cuir

2.1 Introduction

L'industrie du cuir, plus spécifiquement l'affinage du cuir, consiste en des traitements pour convertir la peau brute en cuir, qui peut ensuite être utilisé pour la fabrication d'une grande gamme de produits. Tout le processus implique une séquence de réactions chimiques et de procédés mécaniques complexes. Parmi ceux-ci, le tannage est l'étape fondamentale qui donne au cuir sa stabilité et ses propriétés essentielles. Les tanneries sont très souvent de petites entreprises (European Commission 2003a), incluant des activités artisanales dans les pays en voie de développement

2.2 Description des procédés

L'industrie du tannage est une industrie potentiellement très polluante, avec des rejets d'eaux significatifs, et utilisant certains produits chimiques tels que les biocides, les surfactants et les solvants organiques.

Le procédé de fabrication dans une tannerie peut être divisé en quatre étapes:

- Le stockage des peaux brutes et les opérations de tannerie de rivière;
- Les opérations de tannerie;
- Les opérations en aval des opérations de tannerie;
- Les opérations de finissage.

2.3 Sources des substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm

Il n'existe pas jusqu'à présent des rapports sur les cas de contamination aux PCDD/PCDF dans, ou autour, des installations de traitement du cuir. Cependant, on a trouvé des contaminations dans des produits commerciaux à base de cuir et on peut supposer, en se basant sur les profils des PCDD/PCDF, que ce sont les procédés déjà identifiés dans l'industrie du textile qui sont responsables de la présence de PCDD/PCDF dans les produits de cuir et dans les émissions (UNEP 2003).

C'est probablement le pentachlorophénol qui représente la principale source de contamination. Cette supposition est soulignée par le fait que depuis son interdiction en Allemagne en 1989³ les concentrations de PCDD/PCDF dans les produits à base de cuir ont diminué (European Commission 1996).

3. Concentrations de PCDD/PCDF dans les produits chimiques utilisés dans les chaînes de production pour le textile et le cuir

Le Tableau 1 résume la gamme de concentration des PCDD/PCDF publiée dans la littérature pour les biocides et les produits chimiques utilisés dans la fabrication de colorants. Il faut noter que certaines informations sont assez anciennes et ne sont peut-être plus valables dans la situation présente. Cependant, pour des raisons d'évaluations historiques et parce que certains des lots anciens peuvent encore être utilisés, ou encore parce que des objets de grande consommation, traités avec ces produits chimiques se trouvent encore quelque part dans le monde, l'information présentée ici pourrait présenter un intérêt.

■ **Tableau 1. Concentrations de PCDD/PCDF dans les biocides, et les colorants et pigments**

Produit chimique	Pays ou utilisation	Concentration (ng I-TEQ/kg)	Remarque
<i>Biocides</i>			
PCP Pentachlorophénol	Chine, Europe, USA	800'000–4'445'000	Procédés de fabrication différents
PCP-Na Sel sodium du pentachlorophénol	Chine, Europe, USA	500–3'374'000	Procédés de fabrication différents
CNP Chloronitrofen	Japon	400/300'00	Technologie ancienne/nouvelle
<i>Pigments colorants/matières premières/colorants</i>			
Chloranile	Matières premières pour la fabrication de colorants dioxazine	100–3'065'000	Procédés de fabrication différents
Carbazole violet	Pigments colorants	211'000	
Blue 106	Colorants dioxazine	19'502–56'428	

4. Meilleures techniques disponibles et meilleures pratiques environnementales

Les bonnes pratiques de gestion comprennent l'éducation et la formation du personnel, l'entretien de l'équipement (et sa documentation), le stockage chimique, la manipulation, le dosage, et une connaissance améliorée des entrées et des sorties du procédé.

Une bonne connaissance des matières premières textiles est indispensable pour pouvoir contrôler les transferts de pollution. Les fibres de laine brutes peuvent être contaminées par des pesticides, parfois par des pesticides organo-chlorés, y compris le

pentachlorophénol et le chloronitrofen. Un bon lavage et récurage de la laine, par exemple à l'aide du perchloréthylène, enlèvera effectivement toutes les graisses et tous les pesticides que l'on trouve typiquement dans la phase solvant.

Pour les activités artisanales, les autorités responsables devront encourager l'application d'améliorations aux pratiques courantes et à la sécurité du travail. Il faudrait mettre en place des programmes d'information et de sensibilisation.

Les sources principales de la contamination de PCDD/PCDF dans les textiles et le cuir sont les produits chimiques utilisés dans les chaînes de fabrication ou de finissage, tels que les fongicides et les colorants connus pour être contaminés par les PCDD/PCDF.

La mesure primaire la plus efficace, pour empêcher la contamination par les PCDD/PCDF de textiles et de produits à base de cuire serait de ne pas utiliser ces produits chimiques dans les chaînes de production. Si l'on doit utiliser un des produits cités ci-dessus, on donnera la préférence à des produits sous forme de lots à faible concentration (par exemple, des produits chimiques distillés ou autrement purifiés).

Afin d'éviter ou de minimiser la formation et le rejet de PCDD/PCDF, il est souhaitable d'appliquer la directive sur les meilleures techniques disponibles pour les chaudières industrielles (section VI.D des présentes directives). Cependant on devrait aussi prendre en considération d'autres techniques écologiquement rationnelles.

5. Alternatives

Du fait que la présence de PCDD/PCDF dans les industries du textile et du cuir est liée essentiellement à l'utilisation de produits chimiques contaminés aux dioxines, tels que le pentachlorophénol et certains pigments aux colorants, l'alternative serait de remplacer ces produits par d'autres exempts de dioxines. En Allemagne par exemple, à la suite de l'arrêt de l'utilisation du pentachlorophénol comme agent préservatif, les produits chimiques suivants ont été utilisés:

- 2-(thiocyanométhylthio)benzothiazole (TCMTB; CAS Registry No. 21564-17-0);
- *o*-phénylphénol (oPP; CAS Registry No. 90-43-7);
- 4-chloro-3-méthylphénol (CMK; CAS Registry No. 59-50-7);
- 2-*n*-octyl-4-isothiazolin-3-one (OIT; CAS Registry No. 26530-26-1).

Les produits chimiques susmentionnés sont considérés comme étant moins toxiques pour l'environnement que le pentachlorophénol, mais ils ne sont pas du tout sans danger intrinsèque. Il faudrait essayer d'utiliser d'autres produits chimiques moins dangereux. Autant que possible il est très important de ne pas incinérer des produits textiles, des rembourrages et des tapis afin d'éviter la formation de PCDD/PCDF.

6. Mesures de suivis

Il n'existe pas d'indicateur simple pour l'identification des fibres, laines ou textiles qui sont contaminés aux dioxines. Plusieurs analyses confirment qu'il n'existe pas de corrélation entre les concentrations de pentachlorophénol et de PCDD/PCDF dans les textiles, bien que les profils des dioxines mesurés aient indiqué assez clairement que c'était le pentachlorophénol qui devait en être la source. Ces résultats semblent logiques, car le pentachlorophénol est soluble dans l'eau et sera éliminé pendant les opérations de finissage et le lavage final, tandis que les PCDD/PCDF sont adsorbés sur la fibre et resteront dans le textile. Pour les produits en cuir, dans la plupart des cas, on a trouvé une corrélation qualitative entre le pentachlorophénol et les PCDD/PCDF.

Les capacités nationales devront être établies et renforcées dans le but de suivre les sources possibles de PCDD/PCDF provenant des industries du textile et du cuir, y compris les importations. Il faudrait qu'il y ait plus d'aide et de conseils sur le suivi du pentachlorophénol dans les eaux usées.

Références

EPA (United States Environmental Protection Agency). 1997. *Textile Industry*. Sector Notebook Project EPN3 10-R-97-009. EPA, Office of Compliance Sector Notebook Project, Washington, D.C.

European Commission. 1996. «Commission Decision of 26 February 1996 Concerning the Prohibition of Pentachlorophenol (PCP).» *Official Journal* No. L 068, 19/03/1996 P. 0032-0040. 96/211/EC: Notified by Denmark.

European Commission. 2003a. *Reference Document on Best Available Techniques for the Tanning of Hides and Skins*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es.

European Commission. 2003b. *Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es.

Horstmann M., McLachlan M.S., Reissinger M. and Morgenroth M. 1993. «An Investigation of PCDD/F Formation during Textile Production and Finishing.» *Organohalogen Compd.* 11:417–420.

Masunaga S., Takasuga T. and Nakanishi J. 2001. «Dioxin and Dioxin-Like PCB Impurities in Some Japanese Agrochemical Formulations.» *Chemosphere* 44:873–885.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2003. *Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases*. UNEP, Geneva. www.pops.int/documents/guidance/Toolkit_2003.pdf.

Notes

¹ Ne paraît pas dans European Commission 2003b

² 1 ng (nanogramme) = 1 x 10⁻¹² kilogramme (1 x 10⁻⁹ gramme); Nm³ = mètre cube normal, volume gaz sec mesuré à 0°C et 101,3 kPa. Pour des informations sur les mesures de toxicité voir la section I.C. sous-paragraphe 3 du présent guide

³ Qui fixe une concentration maximale de 5 mg de pentachlorophénol par kg dans le produit final.



<http://www.pops.int>

UNEP/SSC/BATBEP/2008/15

Section V.I.A Section V.I.B Section V.I.C Section V.I.D Section V.I.E Section V.I.F Section V.I.G Section V.I.H Section V.I.I Section V.I.J Section V.I.K Section V.I.L Section V.I.M

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

Les installations de broyage
des épaves de véhicules



Le contenu de cette publication peut être reproduit à des fins éducatives ou sans but lucratif, dans son intégralité ou en partie, quelque soit le format, sans autre permission spéciale, pourvu que la source soit parfaitement identifiée. Le Secrétariat de la Convention de Stockholm et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) souhaiteraient recevoir une copie de tout ouvrage utilisant cette publication comme référence. Cette publication ne peut faire l'objet de revente ou toute autre activité commerciale sans l'accord préalable et par écrit du PNUE.

Publiée par le Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en octobre 2008. Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser au:

Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Genève, Suisse
ssc@pops.int - www.pops.int

Mise en page et impression par: SRO-Kundig - Genève

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

T A B L E D E S M A T I È R E S

SECTION I: INTRODUCTION

- I.A** OBJECTIF
- I.B** STRUCTURE DU DOCUMENT ET UTILISATION DES DIRECTIVES ET CONSEILS
- I.C** PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C: DÉFINITIONS, RISQUES, TOXICITÉ
- I.D** ARTICLE 5 ET L'ANNEXE C DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- I.E** LIEN AVEC LA CONVENTION DE BÂLE
- I.F** LIEN AVEC D'AUTRES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

SECTION II: CONSIDÉRATIONS D'ALTERNATIVES DANS L'APPLICATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

- II.A** CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES DANS LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- II.B** LA CONVENTION DE STOCKHOLM ET LES SOURCES NOUVELLES
- II.C** UNE APPROCHE À LA CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES
- II.D** AUTRES CONSIDÉRATIONS DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM

SECTION III: MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES: DIRECTIVES, PRINCIPES ET CONSIDÉRATIONS CROISÉES

- III.A** DIRECTIVES
- III.B** PRINCIPES ET APPROCHES GÉNÉRAUX
- III.C** CONSIDÉRATIONS CROISÉES:
 - (i) PRODUITS CHIMIQUES DE L'ANNEXE C: MÉCANISMES DE FORMATION
 - (ii) CONSIDÉRATIONS SUR LA GESTION DES DÉCHETS
 - (iii) EFFETS BÉNÉFIQUES ADDITIONNELS DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LES PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C
 - (iv) GESTION DES GAZ DE PROCÉDÉ ET D'AUTRES RÉSIDUS
 - (v) FORMATION DES DÉCIDEURS ET DU PERSONNEL TECHNIQUE
 - (vi) MESURES, SUIVI ET PRÉSENTATIONS DES RAPPORTS

SECTION IV: COMPILATION DES RÉSUMÉS DES CATÉGORIES DES SOURCES INCLUSES DANS LES SECTIONS V ET VI

RESUMES DE LA SECTION V: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

RESUMES DE LA SECTION VI: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

SECTION V: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DE SOURCES: CATEGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

- V.A** LES INCINÉRATEURS DE DÉCHETS
- (i) DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, DÉCHETS DANGEREUX ET DE BOUES D'ÉPURATION
 - (ii) DÉCHET MÉDICAUX
- V.B** LE BRULAGE DE DÉCHETS DANGEREUX DANS LES FOURS A CIMENT
- V.C** LA PRODUCTION DE PÂTE À PAPIER UTILISANT LE CHLORE ÉLÉMENTAIRE, OU DES SUBSTANCES CHIMIQUES GÉNÉRANT DU CHLORE ÉLÉMENTAIRE
- V.D** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
- (i) PRODUCTION DU CUIVRE SECONDAIRE
 - (ii) USINES DE FRITTAGE DANS L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER
 - (iii) PRODUCTION D'ALUMINIUM SECONDAIRE
 - (iv) PRODUCTION DU ZINC SECONDAIRE

SECTION VI: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DES SOURCES: CATÉGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

- VI.A** LA COMBUSTION À CIEL OUVERT DE DÉCHETS, Y COMPRIS DANS LES DÉCHARGES
- VI.B** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE AUTRES QUE CEUX MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE C PARTIE II
- (i) PRODUCTION DU PLOMB SECONDAIRE
 - (ii) PRODUCTION D'ALUMINIUM PRIMAIRE
 - (iii) PRODUCTION DE MAGNESIUM
 - (iv) PRODUCTION D'ACIER SECONDAIRE
 - (v) PREMIÈRE FUSION DES MÉTAUX DE BASE

VI.C	LES SOURCES DE COMBUSTION RÉSIDENTIELLES
VI.D	LA COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES DANS DES CHAUDIÈRES DE CENTRALES ET LES CHAUDIÈRES INDUSTRIELLES
VI.E	LES INSTALLATIONS DE BRÛLAGE DE BOIS ET DE COMBUSTIBLES ISSUS DE LA BIOMASSE
VI.F	LES PROCÉDÉS SPÉCIFIQUES DE PRODUCTION DE SUBSTANCES CHIMIQUES ENTRAÎNANT DES REJETS DE SUBSTANCES INSCRITES À L'ANNEXE C
VI.G	LES FOURS CRÉMATOIRES
VI.H	LES VÉHICULES À MOTEUR, NOTAMMENT CEUX UTILISANT DE L'ESSENCE AU PLOMB
VI.I	LA DESTRUCTION DE CARCASSES D'ANIMAUX
VI.J	LA TEINTURE DE TEXTILES OU DU CUIR (AU CHLORANILE) ET LA FINITION (EXTRACTION ALCALINE)
VI.K	LES INSTALLATIONS DE BROYAGE DES ÉPAVES DE VÉHICULES
VI.L	LE CHAUFFAGE LENT DE CÂBLES EN CUIVRE
VI.M	LES RAFFINERIES D'HUILES USÉES

Section VI.K

Directives/conseils par catégorie des sources:
Catégories des sources dans la Partie III de l'Annexe C

Partie III Catégorie de source (k): Les installations de broyage des épaves de véhicules

T A B L E D E S M A T I È R E S

VI.K Les installation de broyage des épaves de véhicules	9
1. Résumé	9
2. Description du procédé	10
3. Composition des déchets de broyage	11
4. Concentrations des émissions des installations de broyage	13
5. Mesures recommandées	14
6. Exigences techniques minimales pour le traitement	15
7. Mesures primaires	15
8. Mesures secondaires	16
Références	16
Autres sources	16

Tableaux

Tableau 1. Produits organiques dans les résidus de broyage, définis dans la référence originale comme «fraction de combustible» et «fractions de rebut»	12
Tableau 2. Emissions des dibenzo- <i>p</i> -dioxines et dibenzofuranes dans les unités de broyage allemandes (LUA 1997)	13
Tableau 3. Données mesurées pour les concentrations des émissions dans les installations de broyage	14

Figures

Figure 1. Schéma général du procédé de broyage	10
Figure 2. Composition des déchets de broyage	11

■ Résumé

Les installations de broyage des épaves de véhicules sont citées dans l'Annexe C de la Convention de Stockholm comme étant une source susceptible de former et rejeter des produits chimiques inscrits à l'Annexe C. Les broyeurs sont de grandes machines équipées à l'intérieur d'un ou plusieurs enclumes ou broyeurs, et revêtues de plaques en alliage d'acier résistant à l'usure. Un moteur électrique fait fonctionner le rotor équipé de plusieurs marteaux en alliage d'acier se balançant librement. Sous le broyeur se trouve un bac vibrant qui reçoit les matériaux broyés à travers une grille. Ce système produit normalement un courant de métaux ferreux, assez pur et formé de petits morceaux (50 mm) d'acier ainsi que de la bourre («*fluff*» en anglais) qui contient les fragments de métaux non-ferreux et autres matériaux qui sont entrés dans le déchiqueteur (aussi appelé «fragmenteur»).

Il n'existe que très peu de données sur les émissions gazeuses des installations de broyage. Cependant les résultats de quelques études indiquent des niveaux supérieurs à 0,1 ng I-TEQ/m³ pour des composés à base de dioxines. Il n'existe pas actuellement suffisamment de données pour montrer qu'il se forme des dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD), des dibenzofuranes polychlorés (PCDF) ou des polychlorobiphényles (PCB) pendant le broyage (mécanique) de véhicules, d'équipement électrique ménager, ou d'autres équipements électriques. Les indications sont que les PCDD/PCDF et PCB rejetés du broyeur proviennent d'une production industrielle intentionnelle, et ont été introduits avec les huiles, les fluides diélectriques et d'autres matériaux se trouvant dans ces véhicules ou dans des produits de grande consommation, et qui sont libérés pendant le processus mécanique.

De toute manière, il faudrait que des mesures soient prises sur le site de broyage pour éviter des incendies accidentels qui pourraient mener à la production de substances chimiques inscrites à l'Annexe C. La bourre légère du broyage est composée de films plastiques inflammables et de poussières fibreuses, ce qui nécessite que des précautions soient prises pendant le fonctionnement de l'équipement pour éviter des incendies accidentels. Des systèmes pour l'élimination de poussières (par ex. déchiquetage humide) ou pour leur récupération (par ex. cyclones, laveurs venturi ou filtres à manche) sont normalement installés dans les unités de broyage traitant des épaves de véhicules. Des systèmes d'élimination ou de collecte de poussières contribueraient à réduire la possibilité de rejet de polluants organiques persistants. Afin d'améliorer le contrôle des émissions de poussières, les résidus de poussière secs devront être stockés de telle manière que leur propagation soit limitée. D'autres sources de précurseurs de dioxines que pourraient mener à la formation de PCDD/PCDF lorsque les produits sont brûlés comprennent les condensateurs aux PCB, des huiles usagées ou textiles contaminés aux PCB ou au chlorobenzène, et des polymères contenant des retardateurs de flamme bromés (formation de dibenzo-*p*-dioxines polybromés (PBDD) et de dibenzofuranes polybromés (PBDF) comme contaminants).

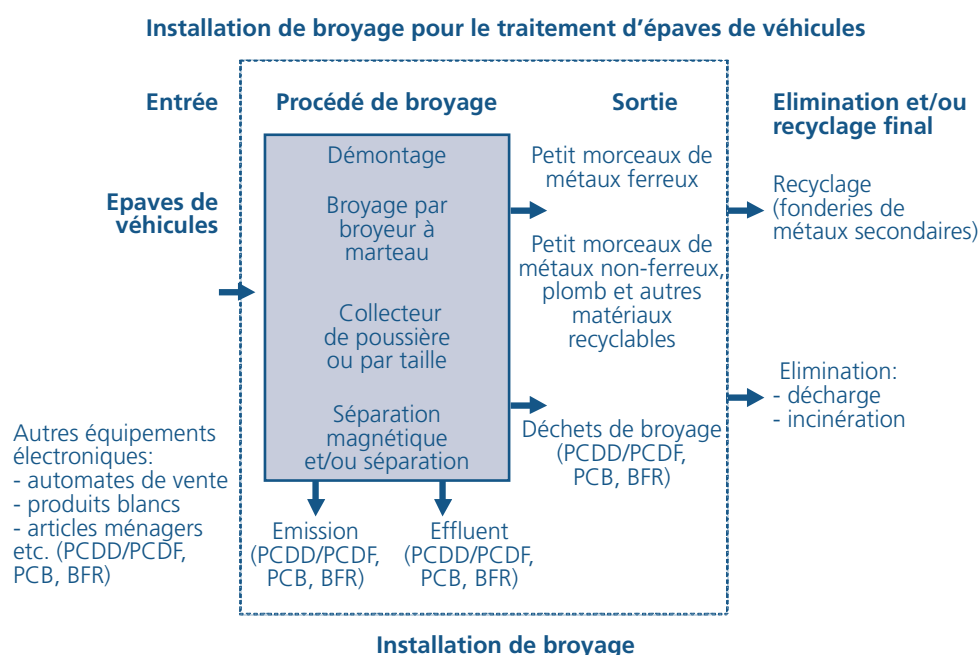
1. Préambule

Les installations de broyage des épaves de véhicules sont citées dans l'Annexe C de la Convention comme étant une source pouvant mener à la formation et au rejet de polluants organiques persistants non-intentionnels. Actuellement, cependant, il n'y a pas suffisamment de données pour montrer que pendant ce procédé mécanique il y ait formation de dibenzo-*p*-dioxines et de dibenzofuranes, ou de polychlorobiphényles. Les données disponibles montrent que les dibenzo-*p*-dioxines et les dibenzofuranes, ainsi que les polychlorobiphényles rejetés des installations de broyage, proviennent de la fabrication industrielle et intentionnelle de polychlorobiphényles et ont été introduits avec les huiles et fluides diélectriques, etc. qui sont présents dans les véhicules, ou plus probablement dans des produits de grande consommation. Le broyeur ne fait que libérer ces contaminants.

2. Description du procédé

Les épaves de véhicules sont traitées par des broyeurs. La pratique est de les broyer en même temps que d'autres produits métalliques en fin de vie (comme par exemple des bicyclettes, du mobilier de bureau, des automates de vente et les produits dits «blancs», tels que des équipements ménagers). Dans ces unités, un broyeur à marteau haute performance produit des morceaux de taille calibrée de déchets métalliques ferreux de haute pureté physique et chimique. Les déchets ferreux sont recherchés par les fabricants d'acier et d'autres métaux secondaires. Un schéma général du procédé est donné dans la Figure 1.

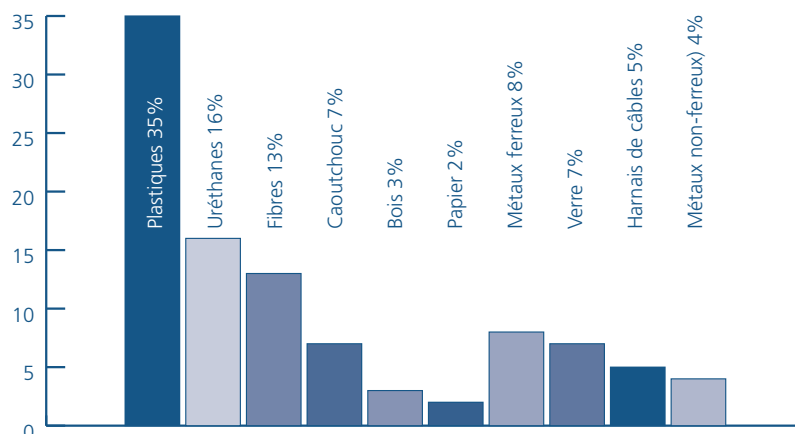
■ Figure 1. Schéma générale du procédé de broyage



Plusieurs composants de véhicules et autres dispositifs électriques sont fabriqués à partir de métaux non-ferreux tels que le cuivre, l'aluminium et le zinc. Pendant le procédé de broyage, on utilise une séparation magnétique pour retirer la fraction magnétique ferreuse

des autres matériaux. Les métaux non-ferreux tels que le cuivre et l'aluminium sont normalement triés dans une étape ultérieure. Ce qui reste, appelé des déchets de broyage, est estimé représenter entre 25% et 35% du poids des épaves de véhicules (Environment Australia, Department of the Environment and Heritage, 2002). Ces déchets de broyage sont composés de verre, fibres, caoutchouc, liquide d'automobile, plastiques et diverses impuretés. La Figure 2 illustre la composition des déchets de broyage.

■ **Figure 2: Composition des déchets de broyage**



(Source: Environment Australia, Department of the Environment and Heritage (2002))

3. Composition des déchets de broyage

La composition de la bourre de broyage variera considérablement d'un lot à un autre, et d'un broyeur à un autre – à cause des différences dans les matériaux traités, et des différents niveaux de prétraitement et inspection par les inspecteurs du broyage. Il faut noter que la bourre variera de manière significative entre broyeurs à cause d'exigences différentes entre les réglementations pour obtenir une autorisation, selon les communes et régions, et les changements dans le temps de ces conditions.

Une investigation faite en Suède (Borjeson, L.; Löfvenius, G.; Hjelt, M.; Johansson, S.; Marklund, S., 2000) indique que les niveaux de PCDD/PCDF par gramme, dans des échantillons secs de bourre de broyage, étaient faibles pour toutes les fractions (Tableau 1). Ceci est conforme aux attentes que les niveaux de dioxines et de furanes devraient être généralement très faibles, parce que les dibenzo-*p*-dioxines et dibenzofuranes ne sont ni utilisés ni volontairement ajoutés, dans un produit technique pour une raison quelconque.

Contrairement aux niveaux trouvés pour les dibenzo-*p*-dioxines et dibenzofuranes, les niveaux pour polychlorobiphényles étaient élevés, en particulier dans les fractions provenant de déchets industriels ou de produits blancs. La présence de polychlorobiphényles dans les produits blancs contribue dans le procédé de déchiquetage mais n'est pas le résultat d'une formation non-intentionnelle pendant le procédé de broyage. Il est donc nécessaire de connaître et identifier, avant le passage dans le broyeur, quels composants d'un dispositif électrique pourraient contenir ces composés, et de procéder à un démontage de ces pièces avant l'opération de broyage.

■ **Tableau 1. Produits organiques dans les résidus de broyage, définis dans la référence originale comme «fractions de combustible» and «fractions de rebut»**

Organiques	PCDD/F	PCDD/F	PCB	PCB	PCBz	PCBz
	I-TEQ ng g ⁻¹ Carburant fr	I-TEQ ng g ⁻¹ Elimination fr	µg g ⁻¹ Carburant fr	µg g ⁻¹ Elimination fr	µg g ⁻¹ Carburant fr	µg g ⁻¹ Elimination fr
P1 démonté à moitié	<0,6	–	6,7	–	2,2	–
P1 démonté complètement	<0,20	–	6,1	–	0,4	–
P1 voitures mixtes	<0,03	0,04	1,1	41	0,7	0,4
P1 déchets mixtes	<0,2	0,03	12	77	0,8	0,3
P1 produits blancs	<0,15	0,04	34	114	0,9	0,4
P1 déchets industriels	<0,3	0,04	24	62	0,3	0,2
P2 démonté à moitié	<0,2	–	2,1	–	1,9	–
P2 démonté à moitié	<0,11	–	0,5	–	1,5	–
P2 démonté complètement	<0,6	–	0,6	–	0,4	–
P2 voitures mixtes	<0,3	0,06	1,5	14	1,5	0,3
P2 déchets mixtes	<0,2	0,15	39	217	1,9	0,4
P2 produits blancs	<0,16	0,11	102	254	0,7	0,5
P2 déchets industriels	<0,12	0,14	25	295	0,4	0,15

(Source. Börjeson, L; Löfvenius, G; Hjelt, M.; Johansson, S.; Marklund, S. 2000)

P1: Démonté à moitié, démonté complètement, voitures mixtes, déchets mixtes, produits blancs, déchets industriels;

P2: Démonté à moitié (*twice, then as before*)

Des études ont confirmé que les résidus de broyage d'épaves de voitures contiennent des PCB dans la gamme de quelques ppm (=mg/kg) (Urano *et al.* 1999, Sakai *et al.* 1998, 2000). Il n'a pas été possible de détecter de contamination par les dibenzo-*p*-dioxines et dibenzofuranes, dans des huiles provenant des épaves de véhicules. En tenant compte des profils des congénères, on peut penser que la raison principale pour ceci est que des matériaux contenant des polychlorobiphényles ont été introduits dans le passé pendant des procédés de recyclage ou de récupération. Bien que l'on n'ait pas étudié les émissions de polluants organiques persistants provenant de broyeurs dans ces travaux, vu les teneurs très faibles de PCB (de quelques ppm) dans les résidus de broyeurs, il faudrait prendre en considération les émissions potentielles de polluants organiques persistants dans les gaz de cheminée. Ce rejet de polychlorobiphényle a son origine dans le mélange commercial de polychlorobiphényle utilisé dans les automobiles. Ces PCB ne sont pas des polluants organiques persistants générés de manière non-intentionnelle, et ne sont donc pas à inclure, strictement parlant, dans l'inventaire des rejets de PCB prévu par l'Article 5 de la Convention de Stockholm. Cependant comme il n'existe pas de moyen pour faire la différence entre les polychlorobiphényles intentionnels et non intentionnels dans les déchets de broyeurs, les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales devront être appliquées afin de minimiser ou éliminer tout rejet de polychlorobiphényles du procédé de broyage.

Du cuivre et du chlore sont présents en quantités significatives dans les déchets de broyeurs, et peuvent mener à la formation de dibenzo-*p*-dioxines et de dibenzofuranes en cas de combustion, et aussi mener au rejet non intentionnel d'autres polluants organiques persistants.

4. Concentrations des émissions des installations de broyage

Un rapport au sujet d'un inventaire européen des dioxines a indiqué que des données mesurées existent pour les dibenzo-*p*-dioxines et les dibenzofuranes dans le cas de quelques installations de broyage. En général, on a trouvé des teneurs très faibles (<0,01 ng I-TEQ/m³) dans une unité étudiée en Sachsen-Anhalt (Germany). Les données disponibles sont résumées dans le tableau 2 ci-dessous, indiquant les émissions et les facteurs d'émission vers l'air.

■ **Tableau 2. Emissions des dibenzo-*p*-dioxines et des dibenzofuranes dans des installations de broyage allemandes**

	Minimum	Maximum	Moyenne géométrique	Moyenne arithmétique
Teneur dans les émissions (ng I-TEQ/m ³)	0,002	0,430	0,056	0,140
Facteur d'émission (mg I-TEQ/t)	0,059	0,667	0,236	0,303

Source: LUA 1997

Une autre investigation venant de la Belgique (François, F., Blondeel, M., Bernaert, P., Baert, R., 2004) a étudié des sources spécifiques potentiellement susceptibles de rejeter de manière non-intentionnelle des PCB et des PCDD/PCDF; il s'agissait d'une installation de broyage produisant diverses fractions réutilisables à partir d'épaves de véhicules, et des déchets provenant d'équipement électrique et électronique. Un résumé de quelques mesures faites sur les dibenzo-*p*-dioxines et les dibenzofuranes, et aussi des polychlorobiphényles rejetés dans des gaz de cheminée est présenté au Tableau 3. Les broyeurs sont équipés d'au moins un système cyclonique de filtrage pour l'élimination de poussières dans les gaz de cheminée. Les vitesses d'écoulement des gaz sont typiquement d'environ 75'000 Nm³/h. Toutes les concentrations de dibenzo-*p*-dioxines et de dibenzofuranes, sauf une, étaient inférieures à 0,1 ng TEQ/Nm³.

■ Tableau 3. Données mesurées pour les concentrations des émissions dans les installations de broyage

Mesures d'émission	PCDD/F ng TEQ Nm ³	PCB apparentés aux dioxines (total des 12) ng TEQ Nm ³
Broyeur 1	0,0098	0,048
	0,012	0,41
	0,0048	0,073
	0,0004	0,025
Broyeur 2	0,077	0,74
	0,043	1,06
	0,022	0,30
Broyeur 3	0,0088	0,171
	0,37	0,34
	0,025	0,73

(Source: François, F., Blondeel, M., Bernaert, P., Baert, R. 2004)

Les précurseurs de dioxines, qui peuvent mener à la formation de dibenzo-*p*-dioxines et de dibenzofuranes (PCDD/PCDF) polychlorés lors d'une combustion, peuvent se trouver dans des condensateurs contenant des polychlorobiphényles, des huiles usagées ou des textiles contaminés par des chlorobenzènes, et des polymères contenant des retardateurs de feu bromés (formation de dibenzo-*p*-dioxines polybromés (PBDD) et dibenzofurans polybromés (PBDF) comme contaminants).

5. Mesures recommandées

Une meilleure pratique environnementale importante est de renforcer la responsabilité des opérateurs des installations de broyage. Il faudrait entreprendre une analyse pour identifier les composants et fluides toxiques dans les matériaux à l'arrivée, et mettre à disposition des installations permettant de les retirer avant le procédé de broyage.

Il est primordial de contrôler les déchets traités, en particulier les dispositifs électriques, les transformateurs et les condensateurs qui doivent être identifiés, démontés et éliminés séparément afin d'éviter l'introduction de polychlorobiphényles dans l'unité. Cette mesure permet aussi de réduire la contamination due aux polychlorobiphényles, dans les résidus de broyage.

Cependant, les déchets de broyage sont toujours contaminés et ne doivent être éliminés que dans un incinérateur spécialisé.

En démontant et en recyclant les grandes pièces en plastique, par exemple des pare-chocs, on peut réduire de manière significative la fraction de plastiques résiduels dans les épaves de véhicules, et dans les déchets du broyeur qui en résultent.

Avec un traitement supplémentaire des déchets de broyage, par exemple par une séparation avec des courants de Foucault, une partie considérable des métaux contenus dans les déchets, comme le cuivre et l'aluminium, peut être récupérée.

Afin d'arriver à une plus grande proportion de fractions recyclables, il faudrait encourager l'utilisation de matériaux recyclables, et aussi l'adoption de pièces faciles à démonter, déjà au niveau de la conception des produits. Cette remarque n'est pas uniquement valable pour épaves de véhicules.

6. Exigences techniques minimales pour le traitement

Les sites doivent être construits pour éviter une contamination des terres, de l'eau et de l'air. Pour cette raison, il faut prévoir des installations adéquates de stockage, comprenant des surfaces imperméables équipées de dispositifs pour la récupération des fuites et déversements, des décanteurs et nettoyeurs dégraisseurs, ainsi que des équipements pour le stockage et le traitement des eaux, y compris les eaux pluviales. En plus, il est nécessaire de disposer de lieux de stockage appropriés pour les pièces de rechange qui ont été démontées, avec aussi un stockage imperméable pour les pièces contaminées à l'huile, et des conteneurs appropriés pour le stockage des batteries (avec une neutralisation de l'électrolyte sur place ou ailleurs), des filtres et des condensateurs contenant des PCB/PCT; finalement des réservoirs de stockage appropriés pour les fluides sont indispensables.

7. Mesures primaires

Il faut en général enlever tous les fluides des épaves de véhicules, ou d'autres dispositifs, avant le broyage: fluides à freins, essence, fluides pour la direction, huiles de moteur, liquides de refroidissement, et liquides pour transmission. Ceci est particulièrement important dans le cas des PCB qui devront être identifiés et enlevés de toute pièce destinée à être broyer. Une attention particulière devra être portée aux transformateurs et condensateurs. Les mesures doivent comprendre:

- L'enlèvement des batteries et des réservoirs à gaz liquéfié;
- L'enlèvement ou la neutralisation de composants potentiellement explosifs (par ex., les air-bags);
- L'enlèvement, et la collecte et stockage séparés des carburants, des huiles de moteur, et des huiles dans d'autres pièces du véhicule;
- L'enlèvement des catalyseurs;
- L'enlèvement des pneus et de grands morceaux de plastique (tels que les pare-chocs, tableaux de bord, récipients pour fluides, etc.), si ces matériaux ne sont pas séparés pendant le procédé de déchetage, de telle manière qu'on puisse les recycler effectivement en tant que matériaux.

8. Mesures secondaires

Les mesures, pour éviter le rejet de polluants organiques persistants dans les installations de broyage, comprennent:

Un traitement poussé des gaz de cheminée (avec filtres à manche et filtres au charbon actif pour éliminer à la fois les émissions gazeuses et particulaires);

Une destruction appropriée des résidus et des déchets liquides provenant du broyage contenant un mélange de matières organiques, des métaux lourds comme le cuivre, et, dans beaucoup de cas, des polychlorobiphényles et autres substances chlorées. En traitant ces déchets de manière inappropriée on provoquera des émissions non-intentionnelles de polluants organiques persistants. Ceci est particulièrement vrai dans le cas d'une combustion à l'air libre. Il ne faut jamais brûler des déchets provenant de broyeurs dans un feu ouvert ou dans des installations non-adaptées.

Le traitement approprié pour les déchets de broyeurs est l'incinération dans une installation répondant aux exigences des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales. Si une telle installation n'est pas disponible, l'élimination dans une décharge sanitaire pourrait être préférée à d'autres formes d'élimination.

Références

Basel Convention Secretariat. 2002. *Technical Guidelines on the Environmentally Sound Management of the Full and Partial Dismantling of Ships*. Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal, United Nations Environment Programme. Geneva.

Börjeson, L.; Löfvenius, G.; Hjelt, M.; Johansson, S.; Marklund, S. 2000. «*Characterization of automotive shredder residues from two shredding facilities with different refining processes in Sweden*», Waste Manage Res. (2000) 18 p.358±366

European Commission. 2000. Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of life vehicles. Official Journal of the European Communities, L 269/34-269/42 EN, 21.10.2000

Environment Australia, Department of the Environment and Heritage .2002. «Environmental Impact of End-of-Life Vehicles: An Information Paper»

François F., M. Blondeel, P. Bernaert, and R. Baert .2004. Diffuse Emissions of PCDD/F and Dioxin-like PCB from Industrial Sources in the Flemish Region. *Organohalogen Compd.* 66, 906-912

Fahrni, H.-P., 2005. Präsentation - Seminar der Abteilung Abfall «Situation RESH» 2005, BUWAL, Switzerland, Fiedler, H.; Sakai, S. 2004. Shredder Plants for Treatment of end-of-life-vehicles. Information document prepared for the third Session of the Expert Group on BAT/BEP. www.pops.int

LUA .1997. Identification of Relevant Industrial Sources of Dioxins und furans in Europe. Materialien No. 43. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, Germany

Sakai S., S. Urano, and H. Takatsuki .2000. Leaching behavior of PCB and PCDDs/DFs from some waste materials. *Waste Management* 20, 241-247

Sakai S., S. Urano, and H. Takatsuki .1998. Leaching Behavior of Persistent Organic Pollutants (POPs) in Shredder Residues. *Chemosphere* 37, 2047-2054

Towa Kagaku Co. 2001. Research report on current status of recycling plaza

Urano S., S. Sakai, and H. Takatsuki .1999. *PCB in Automobile Shredder Residue and its origin*. 8th Symposium on Environmental Chemistry Program and Abstracts, pp 50-51 (in Japanese)

Autres sources

Nourredine, M. 2006. «*Recycling of auto shredder residue*» *Journal of Hazardous Materials*



<http://www.pops.int>

UNEP/SSC/BATBEP/2008/16

Section V.I.M
Section V.I.L
Section V.I.K
Section V.I.J
Section V.I.I
Section V.I.H
Section V.I.G
Section V.I.F
Section V.I.E
Section V.I.D
Section V.I.C
Section V.I.B
Section V.I.A
Section V.D
Section V.C
Section V.B
Section V.A
Sections I-IV

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

Le chauffage lent de câbles en cuivre



Le contenu de cette publication peut être reproduit à des fins éducatives ou sans but lucratif, dans son intégralité ou en partie, quelque soit le format, sans autre permission spéciale, pourvu que la source soit parfaitement identifiée. Le Secrétariat de la Convention de Stockholm et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) souhaiteraient recevoir une copie de tout ouvrage utilisant cette publication comme référence. Cette publication ne peut faire l'objet de revente ou toute autre activité commerciale sans l'accord préalable et par écrit du PNUE.

Publiée par le Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en octobre 2008. Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser au:

Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Genève, Suisse
ssc@pops.int - www.pops.int

Mise en page et impression par: SRO-Kundig - Genève

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

T A B L E D E S M A T I È R E S

SECTION I: INTRODUCTION

- I.A** OBJECTIF
- I.B** STRUCTURE DU DOCUMENT ET UTILISATION DES DIRECTIVES ET CONSEILS
- I.C** PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C: DÉFINITIONS, RISQUES, TOXICITÉ
- I.D** ARTICLE 5 ET L'ANNEXE C DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- I.E** LIEN AVEC LA CONVENTION DE BÂLE
- I.F** LIEN AVEC D'AUTRES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

SECTION II: CONSIDÉRATIONS D'ALTERNATIVES DANS L'APPLICATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

- II.A** CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES DANS LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- II.B** LA CONVENTION DE STOCKHOLM ET LES SOURCES NOUVELLES
- II.C** UNE APPROCHE À LA CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES
- II.D** AUTRES CONSIDÉRATIONS DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM

SECTION III: MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES: DIRECTIVES, PRINCIPES ET CONSIDÉRATIONS CROISÉES

- III.A** DIRECTIVES
- III.B** PRINCIPES ET APPROCHES GÉNÉRAUX
- III.C** CONSIDÉRATIONS CROISÉES:
 - (i) PRODUITS CHIMIQUES DE L'ANNEXE C: MÉCANISMES DE FORMATION
 - (ii) CONSIDÉRATIONS SUR LA GESTION DES DÉCHETS
 - (iii) EFFETS BÉNÉFIQUES ADDITIONNELS DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LES PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C
 - (iv) GESTION DES GAZ DE PROCÉDÉ ET D'AUTRES RÉSIDUS
 - (v) FORMATION DES DÉCIDEURS ET DU PERSONNEL TECHNIQUE
 - (vi) MESURES, SUIVI ET PRÉSENTATIONS DES RAPPORTS

SECTION IV: COMPILATION DES RÉSUMÉS DES CATÉGORIES DES SOURCES INCLUSES DANS LES SECTIONS V ET VI

RESUMES DE LA SECTION V: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

RESUMES DE LA SECTION VI: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

SECTION V: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DE SOURCES: CATEGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

- V.A** LES INCINÉRATEURS DE DÉCHETS
- (i) DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, DÉCHETS DANGEREUX ET DE BOUES D'ÉPURATION
 - (ii) DÉCHET MÉDICAUX
- V.B** LE BRULAGE DE DÉCHETS DANGEREUX DANS LES FOURS A CIMENT
- V.C** LA PRODUCTION DE PÂTE À PAPIER UTILISANT LE CHLORE ÉLÉMENTAIRE, OU DES SUBSTANCES CHIMIQUES GÉNÉRANT DU CHLORE ÉLÉMENTAIRE
- V.D** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
- (i) PRODUCTION DU CUIVRE SECONDAIRE
 - (ii) USINES DE FRITTAGE DANS L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER
 - (iii) PRODUCTION D'ALUMINIUM SECONDAIRE
 - (iv) PRODUCTION DU ZINC SECONDAIRE

SECTION VI: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DES SOURCES: CATÉGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

- VI.A** LA COMBUSTION À CIEL OUVERT DE DÉCHETS, Y COMPRIS DANS LES DÉCHARGES
- VI.B** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE AUTRES QUE CEUX MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE C PARTIE II
- (i) PRODUCTION DU PLOMB SECONDAIRE
 - (ii) PRODUCTION D'ALUMINIUM PRIMAIRE
 - (iii) PRODUCTION DE MAGNESIUM
 - (iv) PRODUCTION D'ACIER SECONDAIRE
 - (v) PREMIÈRE FUSION DES MÉTAUX DE BASE

VI.C	LES SOURCES DE COMBUSTION RÉSIDENTIELLES
VI.D	LA COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES DANS DES CHAUDIÈRES DE CENTRALES ET LES CHAUDIÈRES INDUSTRIELLES
VI.E	LES INSTALLATIONS DE BRÛLAGE DE BOIS ET DE COMBUSTIBLES ISSUS DE LA BIOMASSE
VI.F	LES PROCÉDÉS SPÉCIFIQUES DE PRODUCTION DE SUBSTANCES CHIMIQUES ENTRAÎNANT DES REJETS DE SUBSTANCES INSCRITES À L'ANNEXE C
VI.G	LES FOURS CRÉMATOIRES
VI.H	LES VÉHICULES À MOTEUR, NOTAMMENT CEUX UTILISANT DE L'ESSENCE AU PLOMB
VI.I	LA DESTRUCTION DE CARCASSES D'ANIMAUX
VI.J	LA TEINTURE DE TEXTILES OU DU CUIR (AU CHLORANILE) ET LA FINITION (EXTRACTION ALCALINE)
VI.K	LES INSTALLATIONS DE BROYAGE DES ÉPAVES DE VÉHICULES
VI.L	LE CHAUFFAGE LENT DE CÂBLES EN CUIVRE
VI.M	LES RAFFINERIES D'HUILES USÉES

Section VI.L

**Directives/conseils par catégorie des sources:
Catégories des sources dans la Partie III de l'Annexe C**

Partie III Catégorie de source (I): Le chauffage lent de câbles en cuivre

T A B L E D E S M A T I È R E S

VI.L	Le chauffage lent de câbles en cuivre	9
1.	Description du procédé	9
2.	Sources de produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm	10
2.1	Information générale sur les émissions du brûlage lent des câbles en cuivre	10
2.2	Emissions des PCDD/PCDF dans l'air.....	10
3.	Procédés alternatifs pour le brûlage lent de câbles en cuivre	11
3.1	Hachage des câbles.....	11
3.2	Dénuder les câbles.....	12
3.3	Incinération haute température.....	13
4.	Résumé des mesures	14
	Références	15
Tableaux		
	Tableau 1. Mesures pour de nouvelles installation de récupération du cuivre des câbles	14



■ Résumé

On récupère souvent les déchets de cuivre en chauffant à l'air libre des câbles et des fils pour enlever les revêtements plastiques. Il est probable que des produits chimiques, inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm, soient formés à partir des plastiques et des traces d'huiles, le cuivre agissant en tant que catalyseur aux températures de brûlage entre 250° et 500°C.

Parmi les meilleures techniques disponibles applicables, on peut citer: le déchiquetage mécanique, l'arrachage des revêtements, ou l'incinération haute température >850°C. Une approche possible est de fixer un prix intéressant pour les câbles et fils non traités, pour encourager l'envoi direct des déchets en tant que matière première aux fondeurs de cuivre qui utilisent les meilleures techniques disponibles pour leur traitement.

Les niveaux de performance associés aux meilleures techniques disponibles ne sont pas applicables, car le procédé de chauffage lent n'est ni une meilleure technique disponible, ni une meilleure pratique environnementale et ne devrait pas être pratiqué.

1. Description du procédé

Le procédé de chauffage lent (*smouldering* en anglais) de câbles de cuivre implique le brûlage à l'air libre des revêtements en plastique provenant de câbles et de fils électriques afin d'en récupérer le cuivre. Ce procédé nécessite beaucoup de main d'œuvre et est exploité par des particuliers ou dans de petites installations sans prise de précautions pour traiter les émissions de gaz. Le brûlage est effectué dans des fûts à combustion ou sur le sol à l'air libre. Aucune mesure n'est prise pour contrôler la température ou pour apporter plus d'oxygène afin d'assurer une combustion complète des matières plastiques.

Cette technique de brûlage devient assez courante dans les pays en développement à cause du recyclage d'ordinateurs avec des méthodes manuelles. Cependant le procédé ne se limite pas aux pays en développement et doit être considéré sur un plan mondial. Plusieurs pays en développement et développés ont introduit de la législation pour interdire le brûlage à l'air libre mais la pratique continue.

Dans les directives techniques concernant l'identification et la gestion de manière écologiquement rationnelle de déchets plastiques et leur élimination (la Convention de Bâle traitant du Contrôle de Mouvements Transfrontières de Déchets Dangereux et leur Elimination), il est dit: «le brûlage à l'air libre ne représente une solution acceptable sur le plan environnemental pour aucun type de déchet» (UNEP 2002, p. 43). En plus, la Décision VII/19 de la septième réunion de la Conférence des Parties à la Convention de Bâle (Octobre 2004) a amendé les Annexes VIII et IX de la Convention pour y inclure de nouvelles entrées au sujet du brûlage non contrôlé de déchets de câbles revêtus de plastique. La loi sur l'air propre au Royaume Uni dit: «Une personne qui brûle l'isolation

provenant de câbles en vue de la récupération du métal du câble sera coupable d'un délit...(et) s'exposera à une amende si trouvée coupable d'un flagrant délit...» (Government of the United Kingdom 1993).

2. Sources de produits chimiques inscrits à l'Annexe C de la Convention de Stockholm

Les dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD) et les dibenzofuranes polychlorés (PCDF) peuvent être formés avec des traces d'huile, et en présence de chlore venant de matières plastiques dans la matière première. Comme c'est le cuivre qui semble être le métal le plus efficace pour catalyser la formation des PCDD/PCDF, le brûlage de câbles pourrait représenter une source critique d'émissions de PCDD/PCDF.

2.1 Information générale sur les émissions provenant du brûlage lent des câbles en cuivre

Le brûlage lent de câbles libère divers contaminants en plus des PCDD/PCDF, par exemple le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO₂), les hydrocarbures aromatiques polycycliques, le chlorure d'hydrogène, les métaux lourds et des cendres. Il se produit une incinération incomplète à cause de la température faible (250° à 700°C) ce qui résulte en la formation d'hydrocarbures et des poussières. Des stabilisateurs au plomb, souvent présents dans les revêtements plastiques aux PVC, sont libérés pendant le brûlage. On brûle aussi des câbles de cuivre revêtus au plomb, ce qui libère encore du plomb. Les polluants sont libérés vers l'air, l'eau et le sol.

2.2 Emissions des PCDD/PCDF dans l'air

L'incinération incomplète de plastiques chlorés mène à la production de PCDD/PCDF. Les revêtements en plastique sur les câbles de cuivre sont principalement constitués de polychlorure de vinyle (PVC).

«Pendant la combustion, diverses espèces d'hydrocarbures à structure cyclique (appelées «précurseurs») sont formées en tant que produits intermédiaires de la réaction. Si du chlore est également présent, ces espèces peuvent réagir entre elles pour donner des PCDD/PCDF. Les précurseurs les plus souvent identifiés sont les chlorobenzènes, les chlorophénols, et les polychlorobiphényles. Il est possible que des PCDD/PCDF soient formés à la suite de la réaction de molécules organiques complexes avec le chlore. Plusieurs études ont identifié de fortes corrélations entre la teneur en chlore et les émissions de PCDD/PCDF pendant des tests de combustion» (EPA 1997, p. 3–8).

La destruction des PCDD/PCDF nécessite des températures au dessus de 850°C, en présence d'oxygène (European Commission 2001).

3. Procédés alternatifs pour le chauffage lent de câbles en cuivre

Afin d'éviter la formation PCDD/PCDF, il est fortement déconseillé de procéder au chauffage lent des câbles en cuivre. Des procédés alternatifs au brûlage à l'air libre sont présentés ci-dessous. Le matériau d'isolation, par exemple le PVC, peut aussi être récupéré par ces procédés.

3.1 Hachage de câbles

Le hachage des câbles permet de séparer les revêtements en plastique des câbles sans la génération de PCDD/PCDF, par des méthodes thermiques (UNEP 2001). Ce procédé permet de traiter des câbles de différents types et diamètres. Les produits récupérés sont des granules de cuivre et de PVC.

Le hachage de câbles comprend les étapes suivantes:

3.1.1 Tri préalable

Le tri préalable en fonction du type de câble est indispensable pour des opérations efficaces de hachage, permettant de tirer une valeur maximale des matériaux récupérés et facilitant la séparation des plastiques. Les critères de tri comprennent le type de métal (séparer les câbles en cuivre de ceux en aluminium), le diamètre du conducteur, la longueur du câble et le type d'isolation. Les câbles longs sont coupés en morceaux de moins d'un mètre, tandis que les câbles qui sont enroulés de manière compacte sont défaits en liasses plus lâches. Les câbles traités peuvent varier en diamètre, allant du très fin jusqu'à 8 cm. Il faudrait enlever auparavant les matières indésirables telles que les fils très fins ou les câbles au goudron.

«Dans le passé, on a rajouté des PCB dans le PVC pour les câbles destinés à des systèmes à haut voltage afin d'améliorer les propriétés d'isolation, et à faible voltage afin d'améliorer la résistance au feu. Il faudrait voir si de tels types de câbles sont présents avant de commencer le procédé de recyclage.» (UNEP 2001).

Selon des données sur les PCB venant de l'Allemagne, la plupart des échantillons testés avaient un niveau de contamination de 30 mg PCB/kg, avec certains atteignant des niveaux de plusieurs centaines de ppm, et d'autres seulement 100 ppm ou moins.

3.1.2 Hachage de câbles

Le hachage de câbles est appliqué pour réduire de longs câbles à des dimensions acceptables pour le granulateur. Ce procédé est facultatif dans les plus petites installations. On produit moins de poussières fines par rapport au déchiquetage des câbles.

3.1.3 Granulation

On procède à une granulation pour libérer les métaux de leur revêtement et de leur gaine en plastique. Une granulation plus fine est nécessaire pour assurer une séparation suffisante des métaux et des plastiques. Il restera cependant de petites quantités de métal piégé dans le plastique et celles-ci seront perdues comme déchet

3.1.4 Criblage

Le criblage peut être utilisé pour obtenir une bonne libération des métaux par une séparation en fonction de la dimension des particules. Les granules trop grandes peuvent être retraitées dans le granulateur. Les particules métalliques peuvent être récupérées du produit de tamisage à l'aide d'un aspirateur qui enlèvera les particules non métalliques plus légères. Il faudrait assurer une récupération des poussières et une filtration pendant le criblage.

3.1.5 Séparation par différence de densité

La récupération des métaux est dépendante de l'efficacité de la technique de séparation et du degré de libération des métaux des plastiques. On peut effectuer une séparation des métaux à l'aide de techniques utilisant les différences de densité, telles que des séparateurs à lit fluidisé. De meilleurs résultats seront obtenus avec des séparateurs électrostatiques à sec.

3.2 Dénuder les câbles

Le dénudage des câbles est un procédé moins cher pour la récupération de cuivre que le hachage mais le débit est plus faible. Il n'y a pas de risque de génération de PCDD/PCDF dans ce type de procédé. On préfère ce procédé dans les pays en développement à cause du coût plus faible. Il est préférable de procéder à un tri préalable des câbles en fonction du type de métal, le matériau d'isolation, et le diamètre et la longueur du conducteur (UNEP 2001, p. 44).

Malgré les débits plus faibles, il est possible de récupérer le cuivre complètement puisqu'il ne reste plus de métal dans l'isolation plastique. Une ségrégation soignée en fonction du type de matière isolante, permet de récupérer un déchet consistant en un seul type de polymère, ce qui rend plus facile le recyclage des deux fractions: métal et plastique.

Des machines pour dénuder les câbles ne peuvent traiter qu'un seul fil de câble à des vitesses pouvant atteindre 60 m/min ou 1100 kg/min avec des diamètres de câble allant de 1,6 mm à 150 mm.

3.3 Incinération haute température

L'incinération haute température ne devra être utilisée que pour le traitement de câbles qui ne peuvent pas être récupérés par hachage ou en les dénudant. Des matériaux tels que des fils fins et des câbles contenant des graisses et bitumes, sont brûlés dans des incinérateurs à atmosphère contrôlée pour assurer une combustion complète des plastiques. Il faut prévoir des systèmes efficaces de lavage des fumées. (UNEP 2001, p. 46).

Les effluents gazeux du four contiennent des polluants tels que des PCDD/PCDF, du CO₂, du dioxyde de soufre (SO₂), du HCl et HF, et des poussières. Puisque les PCDD/PCDF sont adsorbés sur des matières particulaires, il faudra recueillir les poussières à l'aide de méthodes efficaces telles que des filtres en tissu, et les recycler dans le four. Si l'incinération n'est pas efficace pour éliminer les PCDD/PCDF, il faudra prévoir l'utilisation de systèmes de post-combustion et de trempe après l'incinération. Le SO₂, le HCl et le HF devront être éliminés par un lavage humide alcalin.

La ferraille incinérée a moins de valeur du fait de l'oxydation qui se produit lors du traitement thermique. Il existe un fort potentiel de formation de PCDD/PCDF dans le cas d'un procédé d'incinération. On préférera hacher ou dénuder des câbles plutôt que de faire une incinération car ces deux procédés sont plus économiques et plus favorables sur le plan de l'environnement. Les câbles qui ne sont pas adaptés à ces deux types de traitement peuvent aussi être traités dans des fours de fusion de cuivre primaire ou secondaire.

4. Résumé des mesures

■ **Tableau 1. Mesures pour de nouvelles installations de récupération du cuivre des câbles**

Mesure	Description	Considérations	Autres commentaires
Procédés alternatifs	Divers de ces procédés recommandés devraient être considérés pour remplacer le brûlage à l'air libre	Des procédés à considérer incluent: <ul style="list-style-type: none">• Hachage des câbles• Enlèvement des revêtements des câbles• Incinération haute température pour des matériaux qui ne sont pas adaptés à être hachés ou dénudés	On considère que l'incinération est une meilleure technique disponible en association avec des systèmes de captage des gaz et de réduction de la pollution

On devra éviter d'utiliser le système de chauffage lent des câbles en cuivre, car cette approche mène à la formation de PCDD/PCDF. Le brûlage à l'air libre ne devra jamais être considéré comme un moyen acceptable pour l'élimination de déchets.

Plusieurs pays ont mis en place des directives et des réglementations interdisant le brûlage des câbles en cuivre, aux niveaux des fédérations, des états, des provinces, des territoires et des municipalités.

Des exemples de telles directives et législations sont: UNEP 2001, Government of the United Kingdom 1993, Government of Hong Kong 1996; Government of New Zealand 2004.

Une possibilité à étudier est la fixation de prix pour les déchets de câbles, supérieurs à la moyenne pour la vente de câbles et de fils non traités, dans le but d'encourager les détenteurs de ce type de déchet de les envoyer en tant que matière première dans les fours de fusion du cuivre utilisant les meilleures techniques disponibles.

Des limites de performance acceptables ne sont pas applicables car le brûlage lent des câbles n'est pas une des meilleures techniques disponibles ou des meilleures pratiques environnementales et ne devra pas être utilisé.

Références

EPA (United States Environmental Protection Agency). 1997. *Locating and Estimating Air Emissions from Sources of Dioxins and Furans*. EPA-454/R-97-003. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, Office of Air and Radiation, Washington, D.C.

European Commission. 2001. *Reference Document on Best Available Techniques in the Non-Ferrous Metals Industries*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es.

Government of Hong Kong. 1996. *Air Pollution Control Ordinance (Open Burning) 1996*. Chapter 3110, Section 4. www.justice.gov.hk/home.htm.

Government of New Zealand. 2004. *Resource Management National Environmental Standards Relating to Certain Air Pollutants, Dioxins, and Other Toxics Regulations*. www.mfe.govt.nz/laws/standards/air-quality-standards.html

Government of the United Kingdom. 1993. *Clean Air Act 1993 (c.11)*. Part IV, No. 33. www.hmso.gov.uk/acts/acts1993/Ukpga_19930011_en_5.htm#mdiv33.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2002. *Technical Guidelines for the Identification and Environmentally Sound Management of Plastic Wastes and for Their Disposal*. UNEP, Geneva. www.basel.int/meetings/cop/cop6/cop6_21e.pdf.



<http://www.pops.int>

UNEP/SSC/BATBEP/2008/17

Section V.I.A Section V.I.B Section V.I.C Section V.I.D Section V.I.E Section V.I.F Section V.I.G Section V.I.H Section V.I.I Section V.I.J Section V.I.K Section V.I.L Section V.I.M

Sections I-IV

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

Les raffineries d'huiles usées



Le contenu de cette publication peut être reproduit à des fins éducatives ou sans but lucratif, dans son intégralité ou en partie, quelque soit le format, sans autre permission spéciale, pourvu que la source soit parfaitement identifiée. Le Secrétariat de la Convention de Stockholm et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) souhaiteraient recevoir une copie de tout ouvrage utilisant cette publication comme référence. Cette publication ne peut faire l'objet de revente ou toute autre activité commerciale sans l'accord préalable et par écrit du PNUE.

Publiée par le Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en octobre 2008. Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser au:

Secrétariat de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Genève, Suisse
ssc@pops.int - www.pops.int

Mise en page et impression par: SRO-Kundig - Genève

**DIRECTIVES SUR LES
MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET LES
MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES**

**en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la
Convention de Stockholm sur les
polluants organiques persistants**

T A B L E D E S M A T I È R E S

SECTION I: INTRODUCTION

- I.A** OBJECTIF
- I.B** STRUCTURE DU DOCUMENT ET UTILISATION DES DIRECTIVES ET CONSEILS
- I.C** PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C: DÉFINITIONS, RISQUES, TOXICITÉ
- I.D** ARTICLE 5 ET L'ANNEXE C DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- I.E** LIEN AVEC LA CONVENTION DE BÂLE
- I.F** LIEN AVEC D'AUTRES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

SECTION II: CONSIDÉRATIONS D'ALTERNATIVES DANS L'APPLICATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

- II.A** CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES DANS LA CONVENTION DE STOCKHOLM
- II.B** LA CONVENTION DE STOCKHOLM ET LES SOURCES NOUVELLES
- II.C** UNE APPROCHE À LA CONSIDÉRATION D'ALTERNATIVES
- II.D** AUTRES CONSIDÉRATIONS DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM

SECTION III: MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET MEILLEURES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES: DIRECTIVES, PRINCIPES ET CONSIDÉRATIONS CROISÉES

- III.A** DIRECTIVES
- III.B** PRINCIPES ET APPROCHES GÉNÉRAUX
- III.C** CONSIDÉRATIONS CROISÉES:
 - (i) PRODUITS CHIMIQUES DE L'ANNEXE C: MÉCANISMES DE FORMATION
 - (ii) CONSIDÉRATIONS SUR LA GESTION DES DÉCHETS
 - (iii) EFFETS BÉNÉFIQUES ADDITIONNELS DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LES PRODUITS CHIMIQUES INSCRITS À L'ANNEXE C
 - (iv) GESTION DES GAZ DE PROCÉDÉ ET D'AUTRES RÉSIDUS
 - (v) FORMATION DES DÉCIDEURS ET DU PERSONNEL TECHNIQUE
 - (vi) MESURES, SUIVI ET PRÉSENTATIONS DES RAPPORTS

SECTION IV: COMPILATION DES RÉSUMÉS DES CATÉGORIES DES SOURCES INCLUSES DANS LES SECTIONS V ET VI

RESUMES DE LA SECTION V: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

RESUMES DE LA SECTION VI: CATEGORIES DE SOURCES INCLUSES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

SECTION V: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DE SOURCES: CATEGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE II DE L'ANNEXE C

- V.A** LES INCINÉRATEURS DE DÉCHETS
- (i) DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, DÉCHETS DANGEREUX ET DE BOUES D'ÉPURATION
 - (ii) DÉCHET MÉDICAUX
- V.B** LE BRULAGE DE DÉCHETS DANGEREUX DANS LES FOURS A CIMENT
- V.C** LA PRODUCTION DE PÂTE À PAPIER UTILISANT LE CHLORE ÉLÉMENTAIRE, OU DES SUBSTANCES CHIMIQUES GÉNÉRANT DU CHLORE ÉLÉMENTAIRE
- V.D** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
- (i) PRODUCTION DU CUIVRE SECONDAIRE
 - (ii) USINES DE FRITTAGE DANS L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER
 - (iii) PRODUCTION D'ALUMINIUM SECONDAIRE
 - (iv) PRODUCTION DU ZINC SECONDAIRE

SECTION VI: DIRECTIVES/CONSEILS PAR CATÉGORIE DES SOURCES: CATÉGORIES DES SOURCES DANS LA PARTIE III DE L'ANNEXE C

- VI.A** LA COMBUSTION À CIEL OUVERT DE DÉCHETS, Y COMPRIS DANS LES DÉCHARGES
- VI.B** LES PROCÉDÉS THERMIQUES DANS L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE AUTRES QUE CEUX MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE C PARTIE II
- (i) PRODUCTION DU PLOMB SECONDAIRE
 - (ii) PRODUCTION D'ALUMINIUM PRIMAIRE
 - (iii) PRODUCTION DE MAGNESIUM
 - (iv) PRODUCTION D'ACIER SECONDAIRE
 - (v) PREMIÈRE FUSION DES MÉTAUX DE BASE

VI.C	LES SOURCES DE COMBUSTION RÉSIDENTIELLES
VI.D	LA COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSSILES DANS DES CHAUDIÈRES DE CENTRALES ET LES CHAUDIÈRES INDUSTRIELLES
VI.E	LES INSTALLATIONS DE BRÛLAGE DE BOIS ET DE COMBUSTIBLES ISSUS DE LA BIOMASSE
VI.F	LES PROCÉDÉS SPÉCIFIQUES DE PRODUCTION DE SUBSTANCES CHIMIQUES ENTRAÎNANT DES REJETS DE SUBSTANCES INSCRITES À L'ANNEXE C
VI.G	LES FOURS CRÉMATOIRES
VI.H	LES VÉHICULES À MOTEUR, NOTAMMENT CEUX UTILISANT DE L'ESSENCE AU PLOMB
VI.I	LA DESTRUCTION DE CARCASSES D'ANIMAUX
VI.J	LA TEINTURE DE TEXTILES OU DU CUIR (AU CHLORANILE) ET LA FINITION (EXTRACTION ALCALINE)
VI.K	LES INSTALLATIONS DE BROYAGE DES ÉPAVES DE VÉHICULES
VI.L	LE CHAUFFAGE LENT DE CÂBLES EN CUIVRE
VI.M	LES RAFFINERIES D'HUILES USÉES

Section VI.M

**Directives/conseils par catégorie des sources:
Catégories des sources dans la Partie III de l'Annexe C**

Partie III Catégorie de source (m): Les raffineries d'huiles usées

T A B L E D E S M A T I È R E S

VI.M Les raffineries d'huiles usées	9
1. Introduction	9
2. Huiles usées.....	10
3. Présence de dibenzo- <i>p</i> -dioxines et de dibenzofuranes polychlorés (PCDD/PCDF) dans les huiles usées	10
4. Raffineries d'huiles usées.....	10
4.1 Distillation sous vide + traitement à l'argile	11
4.2 Distillation sous vide + traitement chimique	11
4.3 Prétraitement à l'hydrogène + distillation sous vide.....	11
4.4 Evaporation sous couche mince + extraction.....	11
4.5 Hydrogénation par contact direct (procédé UOP-DCH).....	11
5. Mesures pour la réduction des dibenzo- <i>p</i> -dioxines et dibenzofuranes polychlorés (PCDD/PCDF) et des polychlorobiphényles (PCB).....	12
6. Conclusions.....	12
Références	12

■ Résumé

Les raffineries d'huiles usées sont données à l'Annexe C de la Convention de Stockholm comme étant une source ayant la possibilité pour la formation et le rejet des substances inscrites à l'Annexe C.

Pour les besoins de cette section de directives, les déchets d'huile (ou d'huiles usées) sont définis comme toute huile à base de pétrole, synthétique, ou à base animale ou végétale qui a déjà été utilisée. Les déchets d'huile peuvent provenir de deux sources majeures: les huiles industrielles usées et les huiles animales et végétales usées. Parmi les huiles industrielles usées, on peut distinguer trois types d'origine: l'huile industrielle (par ex., huile hydraulique, lubrifiant de moteur, huile de coupe); huile venant de garages ou d'atelier; et l'huile de transformateur.

Il a été trouvé que les huiles usées pouvaient être contaminées par des dibenzo-*p*-dioxines polychlorés, des dibenzofuranes polychlorés et des polychlorobiphényles. Actuellement, il n'y a pas d'indications que les dibenzo-*p*-dioxines polychlorés, les dibenzofuranes polychlorés et les polychlorobiphényles soient nouvellement formés dans les raffineries d'huiles usées. Les données disponibles indiquent que les dibenzo-*p*-dioxines polychlorés, les dibenzofuranes polychlorés ou les polychlorobiphényles rejetés des raffineries d'huiles usées ou des installations de traitement et de gestion d'huiles usées proviennent de la production industrielle intentionnelle de polychloro- biphényles ou de chlorobenzènes qui sont présents dans les huiles usées, soit par contamination pendant le processus de synthèse (de ces produits), soit par contamination pendant la phase d'utilisation ou de recyclage antérieur. Dans ce sens, les raffineries représentent une source de distribution de substances inscrites à l'Annexe C plutôt qu'une source de formation.

D'après des informations disponibles, les options pour traiter les huiles usées comprennent la réutilisation ou le recyclage, le craquage thermique, et l'incinération ou l'utilisation comme combustible. Il faut remarquer que l'on pratique aussi la mise en décharge et le brûlage à l'air libre dans beaucoup de pays.

Pour des informations sur l'élimination des huiles usées dans des incinérateurs ou sur leur utilisation en tant que combustible, les sections appropriées de ce document d'orientation devront être consultées (sections V.A, incinérateurs de déchets, V.B, les fours à ciment brûlant des déchets toxiques, VI.A, la combustion à ciel ouvert, VI.C, les sources de combustion résidentielles, et VI.D, la combustion de combustibles fossiles dans des chaudières de centrales et les chaudières industrielles).

1. Introduction

Les raffineries d'huiles usées sont présentées dans l'Annexe C de la Convention de Stockholm comme une source potentielle de produits chimiques inscrits à l'Annexe C. Cependant les informations disponibles sur les raffineries d'huiles usées comme sources

de dibenzo-*p*-dioxines polychlorés (PCDD) et de dibenzofuranes polychlorés (PCDF) sont très limitées et il y faudrait d'autres recherches à ce sujet.

2. Huiles usées

Les huiles usées sont toutes les huiles à base de pétrole ou des huiles synthétiques qui ont déjà servi. Pendant son utilisation, l'huile peut devenir contaminée par de l'eau, des produits chimiques, des particules métalliques et des souillures, ce qui mène à une dégradation de ses propriétés et à la nécessité de la remplacer par un huile neuve.

Les huiles neuves sont des mélanges d'une huile de base (minérale ou synthétique) et des additifs (15–25%). La nature de l'huile de base et des additifs détermine la possibilité de régénération et la possibilité de former des PCDD/PCDF dans les raffineries d'huiles usées.

3. Présence de dibenzo-*p*-dioxines et de dibenzofuranes polychlorés (PCDD/PCDF) dans les huiles usées

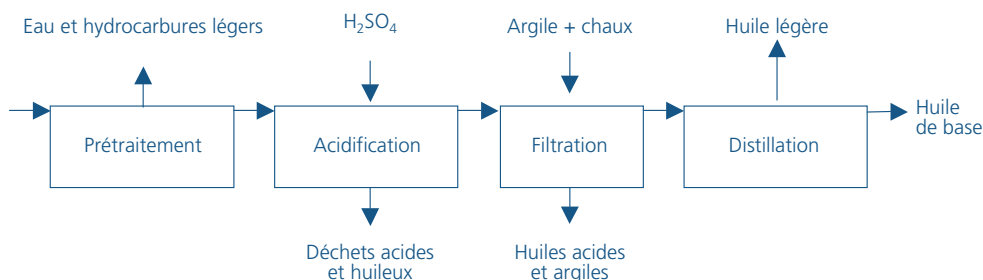
Hagenmaier and Brunner (cités par Fiedler) ont analysé des huiles de moteur neuves et usées (après 10'000 km dans des voitures utilisant de l'essence au plomb). A une limite de quantification de 0,05 mg/kg par congénère, il n'a pas été possible de détecter des dibenzo-*p*-dioxines polychlorés ni des dibenzofuranes polychlorés dans des huiles neuves et utilisées. Cependant, des dibenzo-*p*-dioxines et dibenzofuranes hautement polychlorés ont été détectés dans des huiles recyclées, probablement provenant des huiles usées contaminées avec le pentachlorophénol et son sel de sodium, produits qui ont été utilisés en Europe dans l'industrie des huiles minérales. Il faut noter que quelques uns des additifs utilisés dans les huiles lubrifiantes modernes contiennent des composés chlorés et il est nécessaire de continuer à contrôler les huiles usées envoyées aux raffineries.

4. Raffineries d'huiles usées

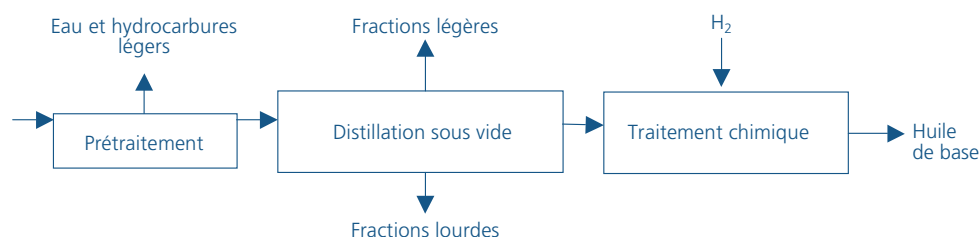
Les raffineries d'huiles usées sont conçues pour fabriquer une huile de base qui peut servir pour des mélanges, quelques sous-produits et des déchets. Les fractions plus légères des sous-produits peuvent servir comme combustibles; les plus lourdes, contenant des additifs et des matières carbonées, peuvent être un matériau pour des mélanges destinés au surfacage des routes.

Cinq technologies sont représentatives des raffineries d'huiles usées:

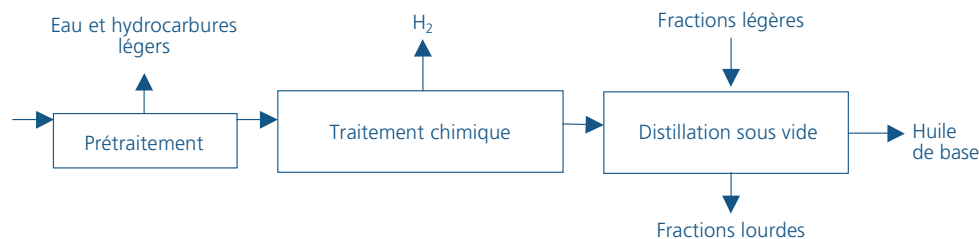
4.1 Distillation sous vide + traitement à l'argile



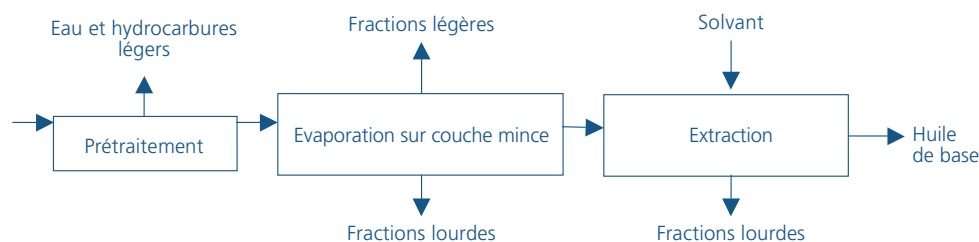
4.2 Distillation sous vide + traitement chimique



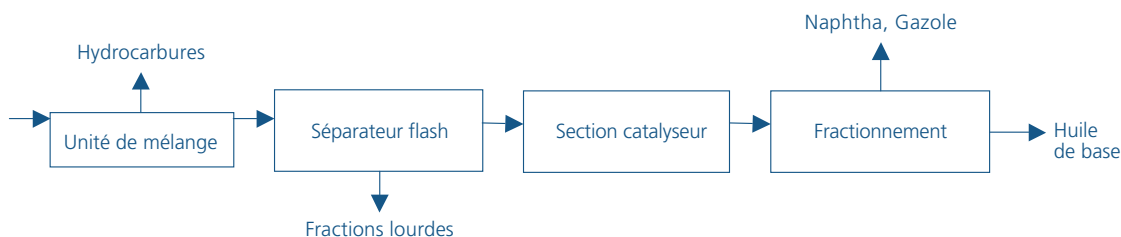
4.3 Prétraitement à l'hydrogène + distillation sous vide



4.4 Evaporation sur couche mince + extraction



4.5 Hydrogénation par contact direct (procédé UOP-DCH)



5. Mesures pour la réduction des dibenzo-p-dioxines (PCDD) et dibenzofuranes polychlorés (PCDF) et des polychlorobiphényles (PCB)

Comme indiqué précédemment, les PCDD/PCDF et PCB, dans l'huile de base ou dans des résidus des raffineries d'huiles usées, proviennent des huiles usées contaminées. Donc une mesure de base pour réduire les émissions de PCDD/PCDF et de PCB de telles raffineries est de ne traiter que des huiles usées ayant de faibles concentrations de PCDD/PCDF et de PCB.

Le Groupement Européen de l'Industrie de la Régénération (GEIR) recommande que les huiles usées suivantes soient considérées en premier pour une régénération:

- Huiles de moteur sans chlore;
- Huiles hydrauliques sans chlore;
- Huiles diathermiques minérales non chlorées.

6. Conclusions

- On a trouvé que les huiles usées pouvaient être contaminées aux PCDD et PCDF, et polychlorobiphényles (PCB);
- Il n'existe pas d'indications que les PCDD, PCDF et PCB soient nouvellement formés dans les raffineries d'huiles usées;
- Les raffineries d'huiles usées représentent une source de distribution de substances inscrites à l'Annexe C plus que d'une source de formation;
- Il faut que les huiles usées, traitées dans des raffineries d'huiles usées, aient une teneur faible en PCDD, PCDF, PCB et en additifs chlorés.

Références

Hagenmaier H. and H. Brunner. 1986. Bestimmung polychlorierter Dibenzodioxine und polychlorierter Dibenzofurane in Motorölen, Altölen und Zweitraffinaten. Fresenius Z. Anal.Chem.324, 23-26

Ruiz E. 1991. «Aceites Lubricantes para Motores a Gasolina.» In: *Material del Curso de Educación Continuada: Fundamentos Básicos de Lubricantes*. Bogotá, Colombia.



<http://www.pops.int>

UNEP/SSC/BATBEP/2008/18

Section V.I.M.
Section V.I.L.
Section V.I.K.
Section V.I.J.
Section V.I.I.
Section V.I.H.
Section V.I.G.
Section V.I.F.
Section V.I.E.
Section V.I.D.
Section V.I.C.
Section V.I.B.
Section V.I.A.
Section V.D.
Section V.C.
Section V.B.
Section V.A.
Sections I-IV