



CONVENTION DE BÂLE

Distr. : générale
29 juin 2017

Français
Original : anglais

**Conférence des parties à la Convention de Bâle
sur le contrôle des mouvements transfrontières
de déchets dangereux et de leur élimination
Treizième réunion**

Genève, 24 avril – 5 mai 2017
Point 4 b) i) de l'ordre du jour

**Questions relatives à l'application de la Convention :
questions scientifiques et techniques : directives techniques**

Directives techniques

Additif

Directives techniques générales sur la gestion écologiquement rationnelle des déchets constitués de polluants organiques persistants, en contenant ou contaminés par ces substances

Note du Secrétariat

À sa treizième réunion, la Conférence des Parties à la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination a adopté, dans la décision BC-13/4 relative aux directives techniques sur la gestion écologiquement rationnelle des déchets constitués de polluants organiques persistants, en contenant ou contaminés par ces substances, les directives techniques générales sur la gestion écologiquement rationnelle des déchets constitués de polluants organiques persistants, en contenant ou contaminés par ces substances, sur la base du projet de directives techniques présenté dans le document UNEP/CHW.13/6/Add.1. Les directives techniques susmentionnées ont été préparées par le Canada en consultation avec le petit groupe de travail intersessions sur l'élaboration des directives techniques sur les déchets de polluants organiques persistants et compte tenu des observations reçues des Parties et autres intéressés et des observations communiquées lors de la dixième réunion du Groupe de travail à composition non limitée de la Convention de Bâle. Ces directives techniques ont été à nouveau révisées le 6 mars 2017 en fonction des observations reçues des Parties et autres intéressés au 28 février 2017, ainsi que des résultats de la réunion en face à face du petit groupe de travail intersessions sur l'élaboration des directives techniques sur les déchets de polluants organiques persistants qui s'est tenue du 20 au 22 février 2017 à Bonn (Allemagne) (voir le document UNEP/CHW.13/INF/60). Le texte de la version finale des directives techniques, tel qu'il a été adopté, est présenté en annexe à la présente note. La présente note, y compris son annexe, n'a pas été revue par les services d'édition.

Annexe

Directives techniques générales sur la gestion écologiquement rationnelle des déchets constitués de polluants organiques persistants, en contenant ou contaminés par ces substances

Version finale révisée (5 mai 2017)

Table des matières

Abréviations et acronymes	5
Unités de mesure.....	5
I. Introduction.....	6
A. Champ d'application.....	6
B. Considérations générales sur les POP et les déchets de POP.....	8
II. Dispositions pertinentes des conventions de Bâle et de Stockholm.....	9
A. Convention de Bâle.....	9
1. Dispositions générales	9
2. Dispositions relatives aux POP.....	10
B. Convention de Stockholm.....	11
1. Dispositions générales	11
2. Dispositions relatives aux déchets	11
III. Questions relevant de la Convention de Stockholm devant être abordées en coopération avec la Convention de Bâle.....	13
A. Faible teneur en POP	13
B. Niveaux de destruction et de transformation irréversible	15
C. Méthodes constituant une élimination écologiquement rationnelle	15
IV. Orientations en matière de gestion écologiquement rationnelle	16
A. Considérations générales	16
B. Cadre législatif et réglementaire	17
1. Délais d'élimination de la production et de l'utilisation des POP	17
2. Prescriptions applicables aux mouvements transfrontières	17
3. Spécifications relatives aux conteneurs, équipements, récipients de vrac et sites de stockage contenant des POP	18
4. Santé et sécurité	18
5. Spécification des procédures d'analyse et d'échantillonnage admises pour les POP	19
6. Prescriptions applicables aux installations de traitement et d'élimination des déchets dangereux	19
7. Exigence générale en matière de participation du public	19
8. Sites contaminés	19
9. Autres mesures de réglementation.....	19
C. Prévention et réduction au minimum des déchets.....	19
D. Identification des déchets.....	20
1. Considérations générales	20
2. Inventaires	22
E. Échantillonnage, analyse et surveillance	22
1. Échantillonnage	23
2. Analyse	24
3. Surveillance	26
F. Manipulation, collecte, emballage, étiquetage, transport et stockage	27
1. Manipulation	28
2. Collecte	28
3. Emballage	29
4. Étiquetage	29
5. Transport	30
6. Stockage	30
G. Élimination écologiquement rationnelle	31
1. Traitement préalable	31
a) Adsorption et absorption	32
b) Combinaison	32
c) Désorption	32
d) Déshydratation	32
e) Démantèlement/désassemblage.....	32
f) Dissolution	32

g)	Distillation.....	32
h)	Séchage	33
i)	Séparation mécanique	33
j)	Filtration sur membrane	33
k)	Mélange.....	33
l)	Séparation huile/eau	33
m)	Ajustement du pH.....	33
n)	Sédimentation.....	33
o)	Réduction de la taille.....	33
p)	Lavage aux solvants	33
q)	Stabilisation et solidification	33
r)	Vaporisation	34
s)	Réduction du volume	34
2.	Méthodes de destruction et de transformation irréversible	34
a)	Réduction par un métal alcalin	35
b)	Incinération avancée des déchets solides	37
c)	Décomposition catalysée par une base	39
d)	Hydrodéchloration catalytique	40
e)	Co-incinération en four de cimenterie	41
f)	Réduction chimique en phase gazeuse	44
g)	Incinération des déchets dangereux	46
h)	Jet de plasma	47
i)	Décomposition par fusion plasma	49
j)	Oxydation dans l'eau supercritique et oxydation dans l'eau sous-critique	49
k)	Production de métaux par procédés thermiques et métallurgiques.....	51
3.	Autres méthodes d'élimination lorsque la destruction ou la transformation irréversible ne constitue pas l'option préférable du point de vue écologique	53
a)	Décharge spécialement aménagée	54
b)	Stockage permanent dans des mines et formations souterraines	54
4.	Autres méthodes d'élimination lorsque la teneur en POP est faible	55
H.	Décontamination des sites contaminés	55
1.	Identification des sites contaminés	55
2.	Décontamination écologiquement rationnelle	56
I.	Santé et sécurité	57
1.	Situations à haut risque.....	57
2.	Situations à risque faible.....	58
J.	Intervention en cas d'urgence	59
K.	Participation du public	59
	Annex I : International instruments	61
	Annex II : Examples of pertinent national legislation.....	62
	Annex III : Bibliography	65

Abréviations et acronymes

AOAC	Association des chimistes analytiques officiels (États-Unis)
CEE-ONU	Commission économique pour l'Europe de l'Organisation des Nations Unies
CEN	Comité européen de normalisation
DDT	1,1,1-trichloro-2,2-bis(4-chlorophényl)éthane
DSM	déchets solides municipaux
DTBT	Désorption thermique à basse température
ESWI	Expert Team to Support Waste Implementation (Équipe d'experts appuyant la mise en œuvre d'une législation sur les déchets)
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FRTR	Federal Remediation Technologies Roundtable (États-Unis d'Amérique)
HBB	hexabromobiphényle
HBCD	hexabromocyclododécane
HCB	hexachlorobenzène
HCBD	hexachlorobutadiène
HCH	hexachlorocyclohexane
IATA	Association du transport aérien international
ISO	Organisation internationale de normalisation
JESCO	Japan Environmental Storage & Safety Corporation
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OIT	Organisation internationale du Travail
OMI	Organisation maritime internationale
ONUDI	Organisation des Nations Unies pour le développement industriel
PBB	polybromobiphényle
PCB	polychlorobiphényle
PCDD	polychlorodibenzo-p-dioxine
PCDF	polychlorodibenzofurane
PCP	pentachlorophénol
PCT	polychloroterphényle
Pd/C	palladium sur carbone
PeCB	pentachlorobenzène
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
POP	polluant organique persistant
SFX	spectrométrie de fluorescence X
SGH	Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques
SPFO	acide perfluorooctane sulfonique
TEAP	Groupe d'évaluation technologique et économique (du Protocole de Montréal)
TEQ	équivalent toxique

Unités de mesure

µg/kg	microgramme(s) par kilogramme. Correspond aux parties par milliard (ppb) en masse.
kg	kilogramme
kW	kilowatt
kWh	kilowattheure
mg	milligramme
mg/kg	milligramme(s) par kilogramme. Correspond aux parties par millions (ppm) en masse.
MJ	mégajoule
ms	milliseconde
ng	nanogramme
Mg	mégagramme (1 000 kg ou 1 tonne)
Nm ³	mètre cube normal ; s'applique à un gaz sec à 101,3 kPa et 273,15 K

I. Introduction

A. Champ d'application

1. Les présentes directives techniques générales fournissent des orientations sur la gestion écologiquement rationnelle des déchets constitués de polluants organiques persistants (POP), en contenant ou contaminés par ces substances (ci-après dénommés « déchets de polluants organiques persistants »), conformément à plusieurs décisions des instances des accords multilatéraux sur l'environnement relatives aux produits chimiques et aux déchets¹. Elles remplacent les *Directives techniques générales actualisées pour la gestion écologiquement rationnelle des déchets constitués de polluants organiques persistants, en contenant ou contaminés par eux (POP)* de mai 2015.
2. Destinées à servir de document « cadre », elles devraient être utilisées avec les diverses directives techniques spécifiques concernant les déchets constitués des polluants organiques persistants suivants, en contenant ou contaminés par eux :
 - a) Polychlorobiphényles (PCB), polychloronaphtalènes (PCN) et hexabromobiphényles (HBB) ; ces directives couvrent également les polychloroterphényles (PCT) et les polybromobiphényles (PBB) autres que les HBB qui sont soumis à la Convention de Bâle mais ne constituent pas des POP soumis à la Convention de Stockholm (directives techniques sur les PCB) (PNUE, 2017a) ;
 - b) Pesticides contenant des POP : aldrine, alpha-hexachlorocyclohexane, bêta-hexachlorocyclohexane, chlordane, chlordécone, dieldrine, endrine, heptachlore, hexachlorobenzène (HCB), hexachlorobutadiène, lindane, mirex, pentachlorobenzène (PeCB), pentachlorophénol et ses sels, acide perfluorooctane sulfonique, endosulfan technique et ses isomères, ou toxaphène ou HCB en tant que substance chimique industrielle (directives techniques sur les POP pesticides) (PNUE, 2017b) ;
 - c) 1,1,1-Trichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)éthane (DDT) (directives techniques sur le DDT) (PNUE, 2006a) ;
 - d) Polychlorodibenzo-p-dioxines (PCDD), polychlorodibenzofuranes (PCDF), HCB, PCB, PeCB et PCN produits de façon non intentionnelle (directives techniques sur les POP produits de façon non intentionnelle) (PNUE, 2017c) ;
 - e) Hexabromodiphényléther (hexaBDE) et heptabromodiphényléther (heptaBDE), ou tétrabromodiphényléther (tétraBDE) et pentabromodiphényléther (pentaBDE) (directives techniques sur les BDE constituant des POP) (PNUE, 2015b) ;
 - f) Hexabromocyclododécane (HBCD) (directives techniques sur le HBCD) (PNUE, 2015c) ;
 - g) Acide perfluorooctane sulfonique (SPFO), ses sels et fluorure de perfluorooctane sulfonyle (FSPFO), ou autres substances connexes au SPFO qui en sont les précurseurs du SPFO (directives techniques sur le SPFO) (PNUE, 2015d).
 - h) Hexachlorobutadiène (HCBd) (directives techniques sur le HCBd) (PNUE, 2017d) ; et
 - i) Pentachlorophénol (PCP) et ses sels et esters (directives techniques sur le PCP) (PNUE, 2017e).
3. L'objectif des directives techniques générales est de :
 - a) Fournir des orientations globales et communes concernant la gestion écologiquement rationnelle des déchets de POP ; et

¹ Décisions IV/17, V/26, VI/23, VII/13, VIII/16, IX/16, BC-10/9, BC-11/3, BC-12/3 et BC/13/4 de la Conférence des Parties Conférence des Parties à la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination ; décisions I/4, II/10, III/8, IV/11, V/12, VI/5, VII/8, OEWG-8/5, OEWG-9/3 et OEWG-10/4 du Groupe de travail à composition non limitée de la Convention de Bâle ; résolution 5 de la Conférence de plénipotentiaires relative à la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants ; décisions INC-6/5 et INC-7/6 du Comité de négociation intergouvernemental chargé d'élaborer un instrument international juridiquement contraignant aux fins de l'application de mesures internationales à certains polluants organiques persistants ; et décisions SC-1/2, SC-2/6, SC-3/7, SC-4/10 à 18, SC-5/3, SC-6/13, SC-7/12, SC-7/13 et SC-7/14 de la Conférence des Parties à la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants

b) Traiter les questions évoquées dans le paragraphe 2 de l'article 6 de la Convention de Stockholm (voir sous-section II.B.2 des présentes directives sur les dispositions de la Convention de Stockholm relatives aux déchets) sur :

- i) Les niveaux de destruction et de transformation irréversible ;
- ii) Les méthodes qui sont considérées constituer une élimination écologiquement rationnelle ; et
- iii) Les niveaux de concentration définissant la faible teneur en POP.

4. Les directives fournissent également des orientations pour la réduction ou l'élimination des rejets de POP dans l'environnement issus des processus d'élimination et de traitement des déchets. Les considérations relatives à l'élimination écologiquement rationnelle des déchets de POP qui sont abordées dans les présentes directives s'étendent au traitement préalable, puisque ce traitement préalable peut être important pour le choix de la méthode d'élimination.

5. Il convient de noter que des orientations sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales qui s'appliquent à la prévention et à la réduction au minimum de la formation et des rejets de POP produits non intentionnellement à partir des sources anthropiques énumérées à l'annexe C de la Convention de Stockholm sont fournies dans le cadre de la Convention de Stockholm. Des directives sur les meilleures techniques disponibles et des orientations provisoires sur les meilleures pratiques environnementales en liaison avec l'article 5 et l'Annexe C de la Convention ont été adoptées par la Conférence des Parties à la Convention à sa troisième réunion, en 2007.

6. Le tableau 1 résume les directives techniques spécifiques sur les POP correspondant à chacun des 26 POP inscrits à l'Annexe A, B ou C à la Convention de Stockholm.

Tableau 1: Polluants organiques persistants inscrits à l'Annexe A, B ou C de la Convention de Stockholm abordés dans des directives techniques spécifiques au titre de la Convention de Bâle

POP de la Convention de Stockholm	Directives techniques sur les POP de la Convention de Bâle								
	Directives techniques générales								
	Directives techniques sur les PCB	Directives techniques sur les pesticides	Directives techniques sur le DDT	Directives techniques sur les POP produits non intentionnellement	Directives techniques sur les-BDE constituant des POP	Directives techniques sur le HBCD	Directives techniques sur le SPFO	Directives techniques sur le HCB	Directives techniques sur le PCP
Aldrine		x							
Chlordane		x							
Chlordécone		x							
Dieldrine		x							
1,1,1-Trichloro-2,2-bis(4-chlorophényl) éthane (DDT)			x						
Endrine		x							
Heptachlore		x							
Hexabromobiphényle (HBB)	x								
Hexabromodiphényléther (hexaBDE) et heptabromodiphényléther (heptaBDE)					x				
Hexabromocyclododécane (HBCD)						x			
Hexachlorobenzène (HCB)		x		x					
Hexachlorobutadiène (HCB		x						x	
Alpha-hexachlorocyclohexane (alpha-HCH)		x							

POP de la Convention de Stockholm	Directives techniques sur les POP de la Convention de Bâle								
	Directives techniques générales								
	Directives techniques sur les PCB	Directives techniques sur les pesticides	Directives techniques sur le DDT	Directives techniques sur les POP produits non intentionnellement	Directives techniques sur les-BDE constituant des POP	Directives techniques sur le HBCD	Directives techniques sur le SPEO	Directives techniques sur le HCB	Directives techniques sur le PCP
Bêta-hexachlorocyclohexane (bêta-HCH)		x							
Lindane		x							
Mirex		x							
Pentachlorobenzène (PeCB)		x		x					
Pentachlorophénol (PCP) et ses sels et esters		x							x
Acide perfluorooctane sulfonique (SPFO), ses sels et fluorure de perfluorooctane sulfonyle (FSPFO)		x					x		
Polychlorobiphényles (PCB)	x			x					
Polychlorodibenzo-p-dioxines (PCDD)				x					
Polychlorodibenzofuranes (PCDF)				x					
Polychloronaphtalènes (PCN)	x			x					
Endosulfan technique et ses isomères		x							
Tétrabromodiphényléther (tétraBDE) et pentabromodiphényléther (pentaBDE)					x				
Toxaphène		x							

B. Considérations générales sur les POP² et les déchets de POP

7. La majeure partie des POP sont d'origine anthropique. Certains POP, comme les HCB, PeCB, PCDD et PCDF, inscrits à l'Annexe C à la Convention de Stockholm, sont également en partie produits de manière non intentionnelle et rejetés par des sources anthropiques. Les caractéristiques des POP (toxicité, persistance et bioaccumulation), leur potentiel de transport à grande distance ainsi que leur présence généralisée dans l'environnement, y compris dans les écosystèmes et chez l'homme, ont incité à établir la Convention de Stockholm.

8. Les POP sont actuellement utilisés ou l'ont été dans des procédés industriels, produits et articles. En raison de leurs caractéristiques, les POP inscrits aux annexes de la Convention de Stockholm doivent être gérés afin d'éviter leur rejet dans l'environnement. Si des mesures doivent être mises en œuvre pour s'attaquer aux POP récemment inscrits, il est tout aussi important de maintenir les mesures visant à gérer les autres POP et à empêcher qu'ils ne se perpétuent (Weber *et al.*, 2015).

9. Il est important de reconnaître que même lorsque les POP sont gérés adéquatement afin de « fermer le robinet » au début du cycle de vie des POP, les mesures de gestion des déchets doivent se poursuivre puisque les POP peuvent rester présents dans les produits et les flux de déchets pendant

² On pourra obtenir de plus amples informations sur les caractéristiques des POP auprès de différentes sources, et notamment de l'Agence pour l'enregistrement des substances toxiques et des maladies (États-Unis), du Programme d'action mondial pour la protection du milieu marin contre la pollution due aux activités terrestres et du Programme international sur la sécurité des substances chimiques (1995) de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS).

plusieurs décennies. De plus, la gestion inappropriée des déchets de POP peut entraîner des rejets de ces substances dans l'environnement. En outre, certaines techniques d'élimination peuvent conduire à la formation et au rejet non intentionnels de POP.

10. Les produits chimiques récemment inscrits à la Convention de Stockholm, tels que les BDE constituant des POP, SPFO et HBCD, ont attiré l'attention sur l'utilisation de POP dans les produits et articles, y compris des produits et articles de consommation. La gestion de ces produits et articles une fois réduits à l'état de déchets a posé de nouveaux défis aux Parties et parties prenantes dans leurs travaux pour définir des stratégies et des approches en vue de la gestion écologiquement rationnelle de ces produits et articles et leurs efforts pour prévenir, réduire ou éliminer les rejets de ces derniers.

II. Dispositions pertinentes des conventions de Bâle et de Stockholm

11. Un certain nombre d'accords multilatéraux sur l'environnement fournissent des cadres afin de prévenir et réduire au minimum les rejets de produits chimiques toxiques et de déchets dangereux. Les Conventions de Bâle, Stockholm et Rotterdam sont une série de briques qui s'emboîtent pour former une approche globale de la gestion des produits chimiques et déchets dangereux tout au long de leur cycle de vie. Ensemble, ces conventions guident les décideurs dans leurs actions en vue de réduire au minimum et de gérer les risques pour l'environnement posés par un éventail de substances chimiques, produits et déchets.

12. Une liste complète des instruments internationaux relatifs aux POP figure dans l'annexe I. Les sections qui suivent expliquent et décrivent brièvement les articles pertinents des conventions de Bâle et Stockholm afin d'illustrer leur complémentarité ainsi que les principales obligations de leurs Parties.

13. Les dispositions de la Convention de Stockholm complètent les dispositions relatives à la gestion des déchets dangereux prévues par la Convention de Bâle pour former un régime global de gestion des déchets de POP. Les dispositions des deux conventions devront être appliquées aux déchets de POP lors de la prise de décisions sur leur gestion écologiquement rationnelle.

A. Convention de Bâle

1. Dispositions générales

14. La Convention de Bâle, entrée en vigueur le 5 mai 1992, a pour but de protéger la santé humaine et l'environnement contre les effets nocifs résultant de la production, de la gestion, des mouvements transfrontières et de l'élimination des déchets dangereux et d'autres déchets. À cette fin, elle établit une série de dispositions relatives aux mouvements transfrontières de déchets et à leur gestion écologiquement rationnelle. En particulier, la Convention stipule qu'un mouvement transfrontière (exportation, importation ou transit) de déchets n'est permmissible qu'à la condition que le mouvement lui-même et l'élimination planifiée des déchets dangereux ou d'autres déchets soient assurés de façon écologiquement rationnelle.

15. Une série de dispositions de la Convention de Bâle définissent les obligations des Parties en matière de gestion écologiquement rationnelle des déchets de POP. Celles-ci sont indiquées dans les paragraphes 16 à 18 ci-dessous.

16. Au paragraphe 1 de l'article 2 (« Définitions »), la Convention de Bâle définit les déchets comme « des substances ou objets qu'on élimine, qu'on a l'intention d'éliminer ou qu'on est tenu d'éliminer en vertu des dispositions du droit national. » Au paragraphe 4, elle définit l'élimination comme « toute opération prévue à l'Annexe IV » de la Convention. Au paragraphe 8, elle définit la gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux ou d'autres déchets comme « toutes mesures pratiques permettant d'assurer que les déchets dangereux ou d'autres déchets sont gérés d'une manière qui garantisse la protection de la santé humaine et de l'environnement contre les effets nuisibles que peuvent avoir ces déchets. »

17. Le paragraphe 1 de l'article 4 (« Obligations générales ») établit la procédure par laquelle les Parties exerçant leur droit d'interdire l'importation de déchets dangereux ou d'autres déchets en vue de leur élimination informent les autres Parties de leur décision. L'alinéa a) de ce paragraphe prévoit que « les Parties exerçant leur droit d'interdire l'importation de déchets dangereux ou d'autres déchets en vue de leur élimination informent les autres Parties conformément aux dispositions de l'article 13. » L'alinéa b) du même paragraphe prévoit que « les Parties interdisent ou ne permettent pas l'exportation de déchets dangereux et d'autres déchets dans les Parties qui ont interdit l'importation de tels déchets, lorsque cette interdiction a été notifiée conformément aux dispositions de l'alinéa a). »

18. Les alinéas a) à e) et g) du paragraphe 2 de l'article 4 contiennent les dispositions essentielles de la Convention de Bâle concernant directement la gestion écologiquement rationnelle, la prévention et la réduction au minimum des déchets et les pratiques d'élimination visant à atténuer les effets nocifs sur la santé humaine et sur l'environnement :

Alinéas a) à e) et g) du paragraphe 2 : « Chaque Partie prend les dispositions voulues pour :

- a) Veiller à ce que la production de déchets dangereux et d'autres déchets à l'intérieur du pays soit réduite au minimum, compte tenu des considérations sociales, techniques et économiques ;
- b) Assurer la mise en place d'installations adéquates d'élimination qui devront, dans la mesure du possible, être situées à l'intérieur du pays, en vue d'une gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux et d'autres déchets en quelque lieu qu'ils soient éliminés ;
- c) Veiller à ce que les personnes qui s'occupent de la gestion des déchets dangereux ou d'autres déchets à l'intérieur du pays prennent les mesures nécessaires pour prévenir la pollution résultant de cette gestion et, si une telle pollution se produit, pour en réduire au minimum les conséquences pour la santé humaine et l'environnement ;
- d) Veiller à ce que les mouvements transfrontières de déchets dangereux et d'autres déchets soient réduits à un minimum compatible avec une gestion efficace et écologiquement rationnelle desdits déchets et qu'ils s'effectuent de manière à protéger la santé humaine et l'environnement contre les effets nocifs qui pourraient en résulter ;
- e) Interdire les exportations de déchets dangereux ou d'autres déchets à destination des États ou groupes d'États appartenant à des organisations d'intégration politique ou économique qui sont Parties, particulièrement les pays en développement, qui ont interdit par leur législation toute importation, ou si elle a des raisons de croire que les déchets en question n'y seront pas gérés selon des méthodes écologiquement rationnelles telles que définies par les critères que retiendront les Parties à leur première réunion. »
- « g) Empêcher les importations de déchets dangereux et d'autres déchets si elle a des raisons de croire que les déchets en question ne seront pas gérés selon des méthodes écologiquement rationnelles. »

Paragraphe 8 : « Chaque Partie exige que les déchets dangereux ou d'autres déchets dont l'exportation est prévue soient gérés selon des méthodes écologiquement rationnelles dans l'État d'importation ou ailleurs. »

2. Dispositions relatives aux POP

19. L'article premier (« Champ d'application de la Convention ») définit les types de déchets qui sont soumis à la Convention de Bâle. L'alinéa a) du paragraphe 1 de cet article présente une méthode permettant de déterminer en deux étapes l'applicabilité de la Convention à un « déchet » donné : celui-ci doit, premièrement, appartenir à l'une des catégories visées à l'Annexe I (« Catégories de déchets à contrôler ») et, deuxièmement, présenter au moins l'une des caractéristiques indiquées à l'Annexe III (« Liste des caractéristiques de danger »).

20. On trouvera une liste des déchets des Annexes I et II qui peuvent être constitués d'un POP particulier, en contenir ou être contaminés par cette substance dans les directives techniques relatives à ce POP.

21. Les déchets inscrits à l'Annexe I sont présumés présenter une ou plusieurs des caractéristiques de danger de l'Annexe III, par exemple H4.1 « Matières solides inflammables », H6.1 « Matières toxiques (aiguës) », H11 « Matières toxiques (effets différés ou chroniques) », H12 « Matières écotoxiques » ou H13 « Matières susceptibles après élimination de donner lieu, par quelque moyen que ce soit, à une autre substance, par exemple un produit de lixiviation, possédant l'une des caractéristiques énumérées ci-dessus », à moins que des « tests nationaux » ne montrent que ce n'est pas le cas. Les tests nationaux peuvent être utiles pour identifier une caractéristique de danger particulière de l'Annexe III de la Convention jusqu'à ce que cette caractéristique soit pleinement définie. Des documents d'orientation pour les caractéristiques de danger H11, H12 et H13 ont été adoptés à titre provisoire par la Conférence des Parties à la Convention de Bâle à ses sixième et septième réunions.

22. La liste A de l'Annexe VIII à la Convention énumère les déchets « considérés comme des déchets dangereux en vertu de l'alinéa a) du paragraphe 1 de l'article premier ». Toutefois, l'inscription d'un déchet dans cette Annexe n'exclut pas le recours à l'Annexe III « Liste des caractéristiques de danger » pour démontrer que ledit déchet n'est pas dangereux. » (Annexe I, paragraphe b). La liste B de l'Annexe IX concerne les déchets qui « ne sont pas couverts par l'alinéa a) du paragraphe 1 de l'article

premier de la Convention, à moins qu'ils ne contiennent des matières de l'Annexe I à des concentrations telles qu'ils présentent une caractéristique de danger figurant à l'Annexe III ».

23. Pour une liste des caractéristiques des déchets figurant à l'Annexe VIII applicables à un POP particulier, on se référera aux directives techniques spécifiques à ce POP.

24. Comme indiqué à l'alinéa b) du paragraphe 1 de l'article premier, « les déchets auxquels les dispositions de l'alinéa a) ne s'appliquent pas, mais qui sont définis ou considérés comme dangereux par la législation interne de Partie d'exportation, d'importation ou de transit » sont également visés par la Convention de Bâle.

B. Convention de Stockholm

1. Dispositions générales

25. La Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (POP) est un traité mondial visant à protéger la santé humaine et l'environnement contre ces substances.

26. L'objectif de la Convention de Stockholm, entrée en vigueur le 17 mai 2004, est énoncé à l'article premier (« Objectif ») : « Compte tenu de l'approche de précaution énoncée dans le Principe 15 de la Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement, l'objectif de la présente Convention est de protéger la santé humaine et l'environnement des polluants organiques persistants ».

27. La Convention de Stockholm distingue deux catégories de POP :

a) Les POP produits intentionnellement, dont la production et l'utilisation doivent être :

- i) Éliminées conformément aux dispositions de l'article 3 et de l'Annexe A ; ou
- ii) Limitées conformément aux dispositions de l'article 3 et de l'Annexe B ; et

b) Les polluants organiques persistants produits non intentionnellement, pour lesquels les Parties sont invitées à prendre, conformément à l'article 5 et à l'Annexe C, une série de mesures visant à réduire le volume total des rejets d'origine anthropique dans le but de les ramener à un minimum et, si possible, de les éliminer à terme.

28. L'alinéa i) du paragraphe a) de l'article 5 de la Convention de Stockholm exige l'établissement et la tenue à jour d'inventaires des sources et d'estimations des rejets pour les POP résultant d'une production non intentionnelle.

29. Le paragraphe b) de l'article 5 encourage 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.

30. Au paragraphe 1 de l'article 7 (« Plans de mise en œuvre »), la Convention prévoit que chaque Partie :

« a) Élabore et s'efforce de mettre en œuvre un plan pour s'acquitter de ses obligations en vertu de la présente Convention ;

b) Transmet son plan de mise en œuvre à la Conférence des Parties dans un délai de deux ans à compter de la date d'entrée en vigueur de la Convention à son égard ; et

c) Examine et actualise, le cas échéant, son plan de mise en œuvre à intervalles réguliers et selon des modalités à spécifier par la Conférence des Parties dans une décision à cet effet. »

2. Dispositions relatives aux déchets

31. L'article 6 (« Mesures propres à réduire ou éliminer les rejets émanant de stocks et déchets ») comporte les dispositions suivantes en ce qui concerne les déchets :

« 1. Afin de s'assurer que les stocks constitués de substances chimiques inscrites à l'Annexe A ou à l'Annexe B, ou en contenant, et les déchets, y compris les produits et articles réduits à l'état de déchets, constitués de substances chimiques inscrites à l'Annexe A, B ou C, en contenant ou contaminés par ces substances soient gérés de manière à protéger la santé humaine et l'environnement, chaque Partie :

a) Élabore les stratégies appropriées pour identifier :

- i) Les stocks constitués de substances chimiques inscrites à l'Annexe A ou à l'Annexe B, ou en contenant, et

- ii) Les produits et articles en circulation et les déchets constitués d'une substance chimique inscrite à l'Annexe A, B, ou C, en contenant, ou contaminés par cette substance ;
 - b) Identifie, dans la mesure du possible, les stocks constitués de substances chimiques inscrites à l'Annexe A ou à l'Annexe B, ou en contenant, sur la base des stratégies visées à l'alinéa a) ;
 - c) Gère les stocks, le cas échéant, d'une manière sûre, efficace et écologiquement rationnelle. Les stocks de substances chimiques inscrites à l'Annexe A ou à l'Annexe B qu'il n'est plus possible d'utiliser conformément à une dérogation spécifique prévue à l'Annexe A ou à une dérogation spécifique ou un but acceptable prévu à l'Annexe B, à l'exception des stocks qu'il est permis d'exporter conformément au paragraphe 2 de l'article 3, sont considérés comme des déchets et sont gérés conformément à l'alinéa d) ;
 - 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 :
 - i) Sont manipulés, recueillis, transportés et emmagasinés d'une manière écologiquement rationnelle ;
 - 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 régissent la gestion des déchets dangereux ;
 - iii) Ne puissent être soumis à des opérations d'élimination susceptibles d'aboutir à la récupération, au recyclage, à la régénération, à la réutilisation directe ou à d'autres utilisations des polluants organiques persistants ;
 - iv) Ne font pas l'objet de mouvements transfrontières sans qu'il soit tenu compte des règles, normes et directives internationales pertinentes ;
 - e) S'efforce d'élaborer des stratégies appropriées pour identifier les sites contaminés par des substances chimiques inscrites à l'Annexe A, B ou C ; si la décontamination de ces sites est entreprise, elle doit être effectuée de manière écologiquement rationnelle.
2. La Conférence des Parties coopère étroitement avec les organes appropriés de la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination pour, entre autres :
- a) Établir les niveaux de destruction et de transformation irréversible nécessaires pour garantir que les caractéristiques des polluants organiques persistants énumérés au paragraphe 1 de l'Annexe D ne sont pas présentes ;
 - b) Déterminer les méthodes dont ils considèrent qu'elles constituent l'élimination écologiquement rationnelle visée ci-dessus ;
 - c) S'employer à établir, le cas échéant, les niveaux de concentration des substances chimiques inscrites aux Annexes A, B et C afin de définir la faible teneur en polluants organiques persistants mentionnée au point ii) de l'alinéa d) du paragraphe 1. »

32. Le point i) de l'alinéa a) du paragraphe 2 de l'article 3 relatif aux importations stipule que « Chaque partie prend des mesures pour s'assurer que toute substance chimique inscrite à l'Annexe A ou à l'Annexe B est importée uniquement en vue d'une élimination écologiquement rationnelle telle que prévue à l'alinéa d) du paragraphe 1 de l'article 6 ». De la même façon, aux termes du point i) de l'alinéa b) du paragraphe 2 de l'article 3, « chaque Partie prend des mesures pour s'assurer que toute substance chimique inscrite à l'Annexe A bénéficiant d'une dérogation spécifique concernant la production ou l'utilisation, ou toute substance chimique inscrite à l'Annexe B bénéficiant d'une dérogation spécifique ou dans un but acceptable concernant la production ou l'utilisation, compte tenu de toutes dispositions pertinentes des instruments internationaux en vigueur sur le consentement

préalable en connaissance de cause, est exportée uniquement en vue d'une élimination écologiquement rationnelle telle que prévue à l'alinéa d) du paragraphe 1 de l'article 6 ».

33. La partie II de l'Annexe C énumère les catégories de sources ayant un potentiel relativement élevé de production et de rejet dans l'environnement de POP figurant à l'Annexe C. La partie III énumère les catégories de sources par lesquelles des POP figurant à l'Annexe C peuvent être produits et rejetés involontairement. La partie V formule des directives générales sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales.

III. Questions relevant de la Convention de Stockholm devant être abordées en coopération avec la Convention de Bâle

A. Faible teneur en POP

34. Aux termes de l'alinéa c) du paragraphe 2 de l'article 6 de la Convention de Stockholm, la Conférence des Parties à cette convention doit coopérer étroitement avec les organes appropriés de la Convention de Bâle pour « s'employer à établir, le cas échéant, les niveaux de concentration des substances chimiques inscrites aux annexes A, B et C afin de définir la faible teneur en polluants organiques persistants mentionnée au point ii) de l'alinéa d) du paragraphe 1 ».

35. Aux termes de la Convention de Stockholm, les déchets de POP doivent, conformément au point ii) de l'alinéa d) du paragraphe 1 de l'article 6, être éliminés de manière à ce que les POP 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.

36. La valeur définie pour la faible teneur en POP dans le cadre de la Convention de Stockholm est indépendante des dispositions relatives aux déchets dangereux prévues par la Convention de Bâle.

37. Selon la Convention de Stockholm, les déchets où les taux de POP dépassent la valeur définie pour la faible teneur en POP doivent être éliminés de manière à ce que les polluants organiques persistants qu'ils contiennent soient détruits ou irréversiblement transformés conformément aux méthodes décrites à la section IV.G.2. Autrement, ils doivent être éliminés d'une manière écologiquement rationnelle lorsque la destruction ou la transformation irréversible ne constitue pas l'option préférable du point de vue écologique conformément aux méthodes décrites à la section IV.G.3.

38. Les déchets dont la teneur en POP est égale ou inférieure à la valeur définie pour la faible teneur en POP doivent être éliminés conformément aux méthodes mentionnées à la section IV.G.4 des directives techniques générales ainsi que des exemples de législation nationale pertinente dans l'annexe II.

39. Des définitions de ce qui constitue une faible teneur en POP doivent être établies en tenant compte des principaux objectifs des conventions de Bâle et de Stockholm, qui sont la protection de l'environnement et celle de la santé humaine. Les points suivants ont été pris en compte lors de la détermination de la faible teneur en POP (Voir Commission européenne, 2011, Agence fédérale allemande pour la protection de l'environnement, 2015, UNEP/CHW/OEWG.9/INF/9/Add.1³ et /Add.2⁴, ainsi que UNEP/CHW.13/INF/66⁵) :

- a) Les aspects ayant trait à l'environnement et à la santé humaine ;

³ Projet de directives techniques générales révisées pour la gestion écologiquement rationnelle de déchets constitués de polluants organiques persistants, en contenant ou contaminés par ces substances : document à l'appui de l'élaboration de la section III des directives techniques générales pour la gestion écologiquement rationnelle des déchets constitués de polluants organiques persistants, en contenant ou contaminés par ces substances.

⁴ Projet de directives techniques générales révisées pour la gestion écologiquement rationnelle des déchets constitués de polluants organiques persistants, en contenant ou contaminés par ces substances : méthodologie pour l'établissement de la faible teneur en polluant organique persistant et son application dans l'Union européenne.

⁵ Informations supplémentaires sur les niveaux de concentration en vue de définir ce qui constitue une faible teneur en polluant organique persistant pour les polluants organiques persistants inscrits aux annexes A, B et C à la Convention de Stockholm.

- b) La disponibilité de capacités d'analyse adéquates ;
- c) L'éventail de concentrations dans les articles, les matériaux et les déchets ;
- d) Les valeurs limites fixées par les législations nationales ;
- e) La disponibilité de capacités de traitement ;
- f) Les déficiences au niveau des connaissances et des données ; et
- g) Les considérations économiques.

40. Les définitions provisoires de ce qui constitue une faible teneur en POP indiquées dans le tableau 2 ci-dessous devraient être appliquées. Elles ont été déterminées conformément aux méthodes et normes nationales ou internationales, sauf pour les PCDD et les PCDF.

Tableau 2 : Définitions de ce qui constitue une faible teneur en POP⁶

POP	Faible teneur en POP
Aldrine	50 mg/kg
Alpha-HCH, bêta-HCH et lindane	50 mg/kg au total ⁷
Chlordane	50 mg/kg
Chlordécone	50 mg/kg
DDT	50 mg/kg
Dieldrine	50 mg/kg
Endrine	50 mg/kg
HBB	50 mg/kg
HBCD	100 mg/kg ou 1000 mg/kg
HCBD	100 mg/kg
Heptachlore	50 mg/kg
Hexabromodiphényléther et heptabromodiphényléther, et tétrabromodiphényléther et pentabromodiphényléther	50 mg/kg ou 1000 mg/kg au total ⁸
HCB	50 mg/kg
Mirex	50 mg/kg
PCB	50 mg/kg
PCDD et PCDF ⁹	15 µg TEQ/kg
PCP et ses sels et esters	100 mg/kg
PCN	10 mg/kg
PeCB	50 mg/kg
SPFO, ses sels et le FSPFO	50 mg/kg
Endosulfan technique et ses isomères apparentés	50 mg/kg
Toxaphène	50 mg/kg

⁶ Il est noté que des travaux visant à réviser les valeurs provisoires constituant une faible teneur en POP seront entrepris conformément à la décision BC-13/4.

⁷ La valeur limite a été fixée pour la somme totale de lindane et de ses produits dérivés : alpha- et bêta-HCH, parce qu'ils peuvent être présents ensemble dans les pesticides et les déchets de production.

⁸ La valeur limite a été fixée pour la somme totale de tétra-, penta-, hexa-, et hepta-BDE, car les congénères varient dans la composition des mélanges commerciaux (voir section I.B.1 des directives sur les BDE constituant des POP) et pour des raisons d'efficacité d'analyse.

⁹ TEQ tel que mentionné dans le paragraphe 2 de la partie IV de l'annexe C à la Convention de Stockholm, mais uniquement pour les PCDD et les PCDF.

B. Niveaux de destruction et de transformation irréversible

41. Le rendement de destruction¹⁰ est le pourcentage de POP initiaux détruits ou irréversiblement transformés par une méthode ou technique donnée. Le rendement d'élimination par destruction¹¹ ne prend en considération que les émissions atmosphériques et correspond au pourcentage de POP initiaux irréversiblement transformés et éliminés des émissions gazeuses.

42. La définition provisoire énoncée au paragraphe 43 ci-dessous prend en compte les points suivants :

- a) Que le rendement de destruction et le rendement d'élimination par destruction sont tous deux fonction de la teneur initiale en POP et ne tiennent compte d'aucune fraction des autres POP produits de manière non intentionnelle lors de la destruction ou de la transformation irréversible ;
- b) Que le rendement de destruction est un critère important pour évaluer la performance des techniques de destruction et de transformation irréversible, mais qu'il peut être difficile à mesurer d'une manière reproductible et comparable ;
- c) Que les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales existent pour assurer que les performances environnementales prévues sont atteintes, y compris le rendement de destruction attendu ; et
- d) Que des législations nationales¹² et des règles, normes et directives internationales pertinentes s'appliquent à ces opérations.

43. La définition provisoire suivante pour les niveaux de destruction et de transformation irréversible, basée sur des niveaux absolus (c'est-à-dire les flux de déchets résiduels des processus de traitement), devrait être appliquée :

- a) Émissions atmosphériques :
 - i) PCDD et PCDF : 0,1 ng TEQ/Nm³ ¹³ ;
 - ii) Tous les autres POP : législations nationales et règles, normes et directives internationales pertinentes ; on trouvera des exemples de textes législatifs nationaux pertinents à l'annexe II ;
 - b) Effluents aqueux : législations nationales et règles, normes et directives internationales pertinentes ; on trouvera des exemples de textes législatifs nationaux pertinents à l'annexe II ;
 - c) Résidus solides : leur teneur en POP devrait être inférieure à la valeur définie pour la faible teneur en POP à la section A du présent chapitre. Toutefois, si la teneur en POP est supérieure à la valeur définie pour la faible teneur en POP à la section A, les résidus solides devraient être traités conformément à la section IV.G.
44. En outre, les technologies de destruction et de transformation irréversible devraient être mises en œuvre conformément aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales.

C. Méthodes constituant une élimination écologiquement rationnelle

45. La section G du chapitre IV ci-après décrit les méthodes considérées comme constituant une élimination écologiquement rationnelle des déchets de POP.

¹⁰ Se calcule en soustrayant de la masse de POP contenue dans les déchets celle des POP restant dans les résidus gazeux, liquides ou solides et en divisant le résultat par la masse de POP contenue dans les déchets, et donc rendement de destruction = (teneur en POP des déchets – teneur en POP des résidus gazeux, liquides et solides) / teneur en POP des déchets.

¹¹ Se calcule en soustrayant de la masse de POP contenue dans les déchets celle des POP restant dans les résidus gazeux (émission à la cheminée) et en divisant le résultat par la masse de POP contenue dans les déchets, et donc rendement d'élimination par destruction = (teneur en POP des déchets – teneur en POP des résidus gazeux) / teneur en POP des déchets.

¹² Par exemple, au Japon, le ministère de l'Environnement a publié en 2010 une « Directive technique pour le traitement écologiquement rationnel des déchets de SPFO », qui stipule que les niveaux de destruction pour le SPFO et ses sels doivent être supérieurs à 99,999 pour cent (ministère japonais de l'Environnement, 2013b).

¹³ Équivalents toxiques visés au paragraphe 2 de la partie IV de l'Annexe C à la Convention de Stockholm, mais pour les PCDD et PCDF seulement. Nm³ s'applique à un gaz sec à 101,3 kPa et 273,15 K. Normalisation à 11 % d'O₂. Normalisation à 10 % d'O₂ pour la co-incinération en four de cimenterie.

IV. Orientations en matière de gestion écologiquement rationnelle

A. Considérations générales

46. La gestion écologiquement rationnelle est un concept compris et appliqué de diverses manières par différents pays, parties prenantes et organisations. Les dispositions et les documents d'orientation relatives à la gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux applicables aux déchets de POP dans le cadre des conventions de Bâle et de Stockholm, ainsi que les « critères de performance de base » élaborés par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) fournissent une compréhension commune et des orientations internationales pour appuyer et mettre en œuvre la gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux et d'autres déchets.

47. Le *Cadre de gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux et d'autres déchets* 2013 (« Cadre de gestion écologiquement rationnelle »)¹⁴ (UNEP, 2013a) a été adopté à la onzième réunion de la Conférence des Parties à la Convention de Bâle. Ce cadre établit une compréhension commune de ce que recouvre la gestion écologiquement rationnelle et identifie les outils et stratégies permettant d'appuyer et de promouvoir la mise en œuvre de celle-ci. Il se veut un guide pratique à l'intention des gouvernements et des autres parties prenantes participant à la gestion des déchets dangereux et d'autres déchets et constitue l'orientation la plus exhaustive concernant la gestion écologiquement rationnelle pour compléter les directives techniques de la Convention de Bâle.

48. Comme présenté au paragraphe 17 du présent document, l'article 4 de la Convention de Bâle contient des dispositions relatives à la gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux et d'autres déchets. En outre, la gestion écologiquement rationnelle fait l'objet des déclarations suivantes :

a) La Déclaration de Bâle de 1999 sur une gestion écologiquement rationnelle, adoptée lors de la cinquième réunion de la Conférence des Parties à la Convention de Bâle. Elle appelle les Parties à intensifier et renforcer leurs efforts et la coopération pour parvenir à une gestion écologiquement rationnelle, notamment dans les domaines suivants : prévention, réduction au minimum, recyclage, récupération et élimination des déchets dangereux et d'autres déchets visés par la Convention de Bâle, compte tenu des aspects sociaux, techniques et économiques, et réduction plus poussée des mouvements transfrontières de déchets dangereux et d'autres déchets visés par la Convention de Bâle ;

b) La Déclaration de Cartagena sur la prévention, la minimisation et la récupération des déchets dangereux et autres déchets de 2011, qui a été adoptée à la dixième réunion de la Conférence des Parties à la Convention de Bâle et réaffirme que la Convention de Bâle est le principal instrument juridique mondial pour orienter la gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux et d'autres déchets ainsi que leur élimination.

49. Le terme « gestion écologiquement rationnelle » n'est pas défini dans la Convention de Stockholm. Les méthodes écologiquement rationnelles d'élimination des déchets de POP doivent cependant être déterminées par la Conférence des Parties, en coopération avec les organes appropriés de la Convention de Bâle.

50. L'OCDE a adopté une Recommandation sur la gestion écologique des déchets qui comprend divers éléments, et notamment les critères de performance de base des orientations pour la gestion écologique des déchets applicables aux installations de récupération des déchets, qui incluent des critères de performance en amont de la collecte, du transport, du traitement et du stockage, ainsi que des critères intervenant en aval du stockage, du transport, du traitement et de l'élimination des résidus correspondants. (OCDE, 2004).

51. Les Parties doivent élaborer toute une panoplie de mesures (stratégies, politiques, législation, règlements et programmes) et contrôler leur mise en œuvre afin de leur permettre de réaliser leurs objectifs en matière de gestion écologiquement rationnelle. La mise en œuvre de stratégies, politiques et programmes nationaux constitue un outil efficace qui complète la mise en œuvre de législations et réglementations ; d'un suivi et du contrôle de l'application ; de mesures d'incitation et de pénalités ; de technologies ; et d'autres outils reposant sur la participation et la coopération de toutes les parties prenantes (PNUE, 2013a). Les sections suivantes devraient être prises en compte lors de l'établissement, de la mise en œuvre ou de l'évaluation de la gestion écologiquement rationnelle.

¹⁴ Cadre de gestion écologiquement rationnelle : <http://www.basel.int/Implementation/CountryLedInitiative/EnvironmentallySoundManagement/ESMFramework/tabid/3616/Default.aspx>

B. Cadre législatif et réglementaire

52. Les Parties aux conventions de Bâle et de Stockholm devraient examiner leurs stratégies, politiques, mesures de réglementation, normes et procédures nationales afin de s'assurer qu'elles sont conformes aux dispositions de ces deux conventions et aux obligations qu'elles créent, en particulier celles qui ont trait à la gestion écologiquement rationnelle des déchets de POP.

53. La plupart des pays disposent déjà, sous une forme ou une autre, d'un cadre législatif définissant des principes, pouvoirs et droits généraux en matière de protection de l'environnement. Idéalement, ces législations devraient définir les modalités de la gestion écologiquement rationnelle et comporter des prescriptions relatives à la protection aussi bien de la santé humaine que de l'environnement. Une telle législation habilitante peut donner au gouvernement le pouvoir de promulguer et de faire appliquer des règles et règlements spécifiques relatifs aux déchets dangereux, de procéder à des inspections et de sanctionner les violations.

54. La législation relative aux déchets dangereux devrait définir les déchets en question. Ceux-ci devraient inclure les déchets dont la teneur en POP dépasse la faible teneur en POP spécifiée dans la définition énoncée à la section III A, selon qu'il convient.

55. Le texte pourrait en outre définir la gestion écologiquement rationnelle et exiger le respect des principes de cette dernière afin de faire en sorte que les pays satisfassent aux dispositions concernant la gestion écologiquement rationnelle des déchets de POP, et en particulier leur élimination écologiquement rationnelle telle que la décrivent les présentes directives et la Convention de Stockholm. Les composantes ou caractéristiques spécifiques d'un cadre réglementaire répondant aux exigences des conventions de Bâle et de Stockholm et des autres accords internationaux sont examinées ci-après¹⁵.

1. Délais d'élimination de la production et de l'utilisation des POP

56. Les législations et les engagements volontaires, selon le cas, devraient établir une distinction entre les dates d'arrêt de la production des POP et de leur utilisation¹⁶ dans des produits ou articles (producteur d'aval) et la date à laquelle les POP (à l'état pur ou en mélange), les produits ou les articles devront être au plus tard éliminés une fois parvenus à l'état de déchet. Elles devraient en outre fixer un délai pour l'élimination des déchets de POP, tenant compte du fait que ces produits et articles peuvent avoir une vie utile longue, afin de prévenir la constitution de stocks importants pour lesquels il n'y aurait pas de dates d'élimination bien définies. On trouvera des exemples de textes législatifs nationaux pertinents dans l'annexe II.

2. Prescriptions applicables aux mouvements transfrontières¹⁷

57. Les déchets dangereux et autres déchets devraient, dans la mesure où cela est compatible avec leur gestion écologiquement rationnelle, être éliminés dans le pays où ils ont été produits. Les mouvements transfrontières de ce type de déchets ne sont autorisés que dans les conditions suivantes :

- a) S'ils sont réalisés dans des conditions ne présentant pas de danger pour la santé humaine et l'environnement ;
- b) Si les exportations sont gérées de façon écologiquement rationnelle dans le pays d'importation ou ailleurs ;
- c) Si le pays d'exportation ne dispose pas des capacités techniques et installations nécessaires pour éliminer les déchets en question de façon efficace et écologiquement rationnelle ;
- d) Si les déchets en question sont destinés à être utilisés comme matière première pour des industries de recyclage ou de récupération dans le pays d'importation ; ou
- e) Si ces mouvements transfrontières répondent à d'autres critères arrêtés par les Parties.

¹⁵ Pour de plus amples informations sur les cadres réglementaires conformes à la Convention de Bâle, on se reportera aux documents suivants : *Manuel de mise en œuvre de la Convention de Bâle* (PNUE, 2015f) et *Guide du système de contrôle de la Convention de Bâle* (PNUE, 2015g). Les Parties à la Convention de Stockholm devraient également consulter la *Directive pour l'élaboration des plans nationaux de mise en œuvre de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants* (PNUE, 2014).

¹⁶ Il convient de noter que les première et deuxième parties de l'Annexe A de même que l'Annexe B à la Convention de Stockholm mentionnent l'élimination et la limitation de la production et de l'utilisation des polluants organiques persistants.

¹⁷ Ceci ne s'applique qu'aux Parties à la Convention de Bâle.

58. Tout mouvement transfrontière de déchets dangereux et d'autres déchets est soumis à notification écrite préalable du pays d'exportation et au consentement écrit préalable du pays d'importation et, s'il y a lieu, des pays de transit. Les Parties interdiront l'exportation de déchets dangereux et d'autres déchets si le pays d'importation interdit l'importation de ce type de déchets. La Convention de Bâle exige également que des informations relatives à tout mouvement transfrontières envisagé soient fournies en utilisant le formulaire de notification accepté et que l'expédition approuvée soit accompagnée d'un document de mouvement depuis le lieu d'origine du mouvement transfrontière jusqu'au lieu d'élimination.

59. De plus, les déchets dangereux et autres déchets faisant l'objet de mouvements transfrontières devraient être emballés, étiquetés et transportés conformément aux règles et normes internationales¹⁸.

60. Lorsqu'un mouvement transfrontière de déchets dangereux et d'autres déchets auquel les pays concernés ont consenti ne peut pas être mené à terme, le pays d'exportation veillera à ce que les déchets soient réintroduits dans le pays d'exportation en vue de leur élimination si d'autres dispositions ne peuvent pas être prises. En cas de trafic illicite (tel que défini au paragraphe 1 de l'article 9), résultant du comportement de l'exportateur ou du producteur, le pays d'exportation veillera à ce que les déchets en question soient repris dans le pays d'exportation en vue de leur élimination ou éliminés d'une autre manière conformément aux dispositions de la Convention de Bâle (en vertu du paragraphe 2 de l'article 9).

61. Aucun mouvement transfrontière de déchets dangereux ou d'autres déchets n'est autorisé entre une Partie et une non-Partie à la Convention de Bâle, à moins que celles-ci n'aient conclu un accord bilatéral, multilatéral ou régional, conformément aux dispositions de l'article 11 de la Convention.

3. Spécifications relatives aux conteneurs, équipements, récipients de vrac et sites de stockage contenant des POP

62. Pour satisfaire aux exigences de la gestion écologiquement rationnelle et aux dispositions spécifiques des Conventions de Bâle et de Stockholm (notamment au paragraphe 7 de l'article 4 de la Convention de Bâle et au paragraphe 1 de l'article 6 de la Convention de Stockholm), les Parties peuvent avoir à promulguer une législation spécifique décrivant les types de conteneurs et de zones de stockage admissibles pour des POP donnés et leurs flux de déchets concernés¹⁹. Les Parties devraient s'assurer que les conteneurs susceptibles d'être transportés dans un autre pays satisfont aux normes internationales comme celles édictées par l'Association du transport aérien international (IATA), l'Organisation maritime internationale (OMI) et l'Organisation internationale de normalisation (ISO).

4. Santé et sécurité²⁰

63. Il faudrait adopter une approche législative pour protéger les travailleurs contre une exposition éventuelle à des POP. Les dispositions devraient notamment comporter des prescriptions relatives à l'étiquetage convenable des produits et à l'identification des méthodes d'élimination appropriées. Bien que ni la Convention de Bâle, ni la Convention de Stockholm n'exige expressément que les Parties disposent d'une législation relative à la santé et à la sécurité des travailleurs, la protection de la santé humaine forme la base d'un grand nombre des objectifs de ces deux conventions.

64. La plupart des pays ont d'ores et déjà pris des dispositions relatives à la santé et à la sécurité des travailleurs, soit dans leur législation du travail, soit dans une législation spécifique concernant la santé humaine ou l'environnement. Les Parties devraient réexaminer leur législation existante pour s'assurer qu'elle couvre convenablement les POP et que les aspects pertinents des accords internationaux sont intégrés dans cette législation. La santé et la sécurité des travailleurs constituent un domaine relativement évolué, et il existe un grand nombre de directives et d'ouvrages qui peuvent aider à planifier ou à réviser la législation, la politique et les directives techniques.

65. À l'alinéa e) du paragraphe 1 de l'article 10 (« Information, sensibilisation et éducation du public »), la Convention de Stockholm invite les Parties à favoriser et faciliter la formation de travailleurs, de scientifiques, d'éducateurs et de personnels technique et de direction. La législation nationale en matière de santé et de sécurité devrait comporter des dispositions relatives à la sécurité dans la manipulation et le stockage de déchets de POP.

¹⁸ À cet égard, il conviendrait d'utiliser les Recommandations des Nations Unies relatives au transport des marchandises dangereuses (Règlement type) de 2003 (CEE-ONU, 2003a), ou des versions ultérieures.

¹⁹ Les Parties devraient consulter les directives relatives au stockage des pesticides et des pesticides à l'état de déchets qui ont été élaborées par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) (FAO, 1996).

²⁰ Voir la section IV.I.

5. Spécification des procédures d'analyse et d'échantillonnage admises pour les POP

66. Différents protocoles et méthodes d'échantillonnage et d'analyse ont été élaborés à des fins diverses. Des données fiables et utiles ne peuvent être obtenues que si des méthodes d'échantillonnage et d'analyse adaptées aux déchets sont mises en œuvre. Les Parties aux conventions de Bâle et de Stockholm devraient disposer d'une législation ou de directives rigoureuses spécifiant les méthodes d'échantillonnage et d'analyse admises pour chaque déchet POP, en fonction, notamment, de la forme sous laquelle il se présente et de la matrice dans laquelle il se trouve. Les procédures spécifiées devraient être décidées et acceptées avant la réalisation de l'échantillonnage et de l'analyse. Il est recommandé d'employer des procédures admises au niveau international, afin que les résultats indiqués soient acceptables et comparables. Pour plus de précisions, voir la section E du présent chapitre.

6. Prescriptions applicables aux installations de traitement et d'élimination des déchets dangereux

67. La plupart des pays disposent d'une législation exigeant que les installations de traitement et d'élimination des déchets soient agréées avant leur mise en service. Les agréments peuvent énoncer des conditions spécifiques à respecter pour qu'ils restent valides. Il peut être nécessaire d'y ajouter des prescriptions particulières pour les déchets de POP, afin de satisfaire aux exigences de la gestion écologiquement rationnelle et de respecter les prescriptions spécifiques des conventions de Bâle et de Stockholm.

7. Exigence générale en matière de participation du public

68. La participation du public est un principe central de la Déclaration de Bâle de 1999 sur une gestion écologiquement rationnelle, ainsi que de nombreux autres accords internationaux. La participation du public dont il est question dans la section IV.K ci-après peut être prise en compte dans la législation ou la politique.

8. Sites contaminés

69. Des dispositions prévoyant l'établissement d'un inventaire des sites contaminés et la décontamination de ces sites de manière écologiquement rationnelle (alinéa e) du paragraphe 1 de l'article 6 de la Convention de Stockholm) peuvent être incluses dans la législation.

9. Autres mesures de réglementation

70. Les autres aspects de la gestion du cycle de vie des déchets de POP qui pourraient être réglementés par la législation sont par exemple les suivants :

- a) Dispositions et prescriptions relatives au choix des sites pour le stockage, la manipulation, la collecte et le transport des déchets ;
- b) Prescriptions en matière de déclassement, couvrant en particulier :
 - i) L'inspection avant et pendant le déclassement ;
 - ii) Les procédures à suivre pour protéger la santé des travailleurs et du public ainsi que l'environnement lors du déclassement ;
 - iii) Les prescriptions applicables au site après déclassement ;
- c) Plans d'urgence pour les interventions en cas de déversement et d'accident, et notamment :
 - i) Procédures de nettoyage et concentrations à atteindre après nettoyage ;
 - ii) Exigences en matière de formation et de sécurité des travailleurs ;
- d) Plans de prévention, de réduction au minimum et de gestion des déchets.

C. Prévention et réduction au minimum des déchets

71. La prévention et la réduction au minimum des déchets de POP constituent l'étape initiale, et la plus importante, de la gestion écologiquement rationnelle de ce type de déchets. Au paragraphe 2 de l'article 4, la Convention de Bâle invite les Parties à « veiller à ce que la production de déchets dangereux et d'autres déchets à l'intérieur du pays soit réduite au minimum ». La prévention des déchets devrait être l'option privilégiée dans toute politique de gestion des déchets. Conformément au cadre pour la gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux et d'autres déchets, la nécessité de gérer les déchets et/ou les risques et coûts associés à cette gestion sont réduits si l'on évite de produire des déchets et si l'on veille à abaisser la dangerosité des déchets produits (PNUE, 2013a).

72. D'après le cadre pour la gestion écologiquement rationnelle de la Convention de Bâle, les entreprises produisant des déchets (producteurs de déchets) ont la responsabilité d'assurer l'application des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales au cours de leurs activités productrices de déchets. Ce faisant, elles s'emploient à réduire au minimum les déchets produits en assurant la recherche, les investissements dans la conception, l'innovation et la mise au point de nouveaux produits et procédés qui soient moins consommateurs de ressources et d'énergie et qui réduisent, remplacent ou éliminent l'utilisation de matériaux dangereux.

73. Les producteurs de déchets et les grands utilisateurs industriels d'aval (préparateurs de pesticides par exemple) de produits et d'articles contenant des POP pourraient avoir l'obligation d'élaborer des plans de gestion des déchets. Ces plans devraient couvrir tous les déchets dangereux et tous les déchets de POP.

74. Un programme de prévention et de réduction au minimum des déchets comporte notamment les éléments suivants :

- a) Identification des procédés susceptibles de donner lieu à une production non intentionnelle de POP (incinération, par exemple) et détermination de l'applicabilité ou non des directives de la Convention de Stockholm concernant les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales ;
- b) Identification des procédés utilisant des POP et produisant des déchets de POP afin :
 - i) D'établir si des modifications de ces procédés, telles que la modernisation d'équipements ou de matériel anciens, permettraient de réduire la production de déchets de POP ; et
 - ii) De trouver des procédés de substitution ne produisant pas de déchets de POP ;
- c) Identification des produits et articles constitués de POP, en contenant ou contaminés par ces substances et de produits de substitution exempts de POP ; et
- d) Réduction au minimum du volume de déchets de POP produits, grâce à :
 - i) Une maintenance régulière des équipements en vue d'accroître leur efficacité et de prévenir les risques de déversement ou de fuite ;
 - ii) Un confinement rapide des déversements et des fuites ;
 - iii) Une décontamination des conteneurs et équipements dans lesquels se trouvent des déchets de POP ;
 - iv) L'isolement des déchets de POP afin de prévenir la contamination d'autres matières ; et
 - v) L'adoption de procédures appropriées de démantèlement des installations.

75. Le fait de mélanger dans d'autres matières et de combiner des déchets où les taux de POP dépassent une teneur définie comme faible afin d'obtenir un mélange où les taux de POP restent égaux ou inférieurs à cette faible teneur n'est pas une pratique écologiquement rationnelle. Toutefois, un tel mélange ou une telle combinaison préalable peut être nécessaire pour permettre le traitement des déchets ou optimiser l'efficacité de celui-ci.

D. Identification des déchets

1. Considérations générales

76. L'identification des déchets de POP constitue le point de départ à l'efficacité de leur gestion écologiquement rationnelle. Les déchets de POP peuvent être produits au cours de divers procédés et activités intervenant tout au long de leur cycle de vie, par exemple :

- a) Lors de leur fabrication intentionnelle (installations de production) ;
- b) Comme sous-produits de processus industriels ou autres utilisant ces POP (par exemple, sites de fabrication de produits et articles, tels que plastiques, rembourrages, textiles, matériaux d'emballage, équipements électriques/électroniques, mélanges-maîtres, granulats, matériaux en polystyrène expansé, peintures, adhésifs, etc.) ;
- c) Par contamination de matériaux ou de l'environnement à la suite d'accidents ou de fuites pouvant survenir au moment de la production, de la vente, de l'utilisation, du déclassement, du retrait, du transfert ou de l'élimination ;

d) Par contamination de matériaux ou de l'environnement lors de la manipulation et de l'utilisation de produits et articles tels que conteneurs, vêtements et, dans certains cas, équipements (masques de protection respiratoire, etc.) qui ont été contaminés par contact avec un POP ;

e) Lorsque des produits ou articles constitués de POP, en contenant ou contaminés par ces substances sont usagés, ne sont plus conformes aux spécifications, ne sont plus adaptés à l'usage auquel ils étaient destinés, ont été proscrits ou interdits ou que leur homologation a été retirée ; ou

f) Lorsque des produits ou articles constitués de POP, en contenant ou contaminés par ces substances sont éliminés (p. ex. incinération donnant lieu à des cendres contaminées par des POP produits de manière non intentionnelle).

77. Les déchets de POP se présentent sous la forme de solides ou de liquides (aqueux, semi-aqueux, à base de solvants ou de type émulsion) et peuvent être rejetés sous forme de gaz (gaz seuls, en dispersion dans un liquide ou sous la forme d'aérosols, ou adsorbés sur des polluants atmosphériques). On trouvera des exemples de déchets de ce type dans le tableau 3.

Tableau 3 : États physiques et types de déchets de POP produits

État physique des déchets	Type de déchet
Liquide	<ol style="list-style-type: none"> 1. Stock liquide périmé constitué de POP à l'état pur 2. Effluents industriels 3. Effluents municipaux 4. Lixiviats de décharge 5. Liquide industriel (exemple : solvant) 6. Produits ménagers liquides 7. Fluides liquides (exemple : huiles isolantes et fluides hydrauliques) 8. Boues industrielles 9. Boues municipales
Solide	<ol style="list-style-type: none"> 1. Stock liquide périmé constitué de POP 2. Sols, sédiments, roches et agrégats miniers 3. Boues industrielles 4. Boues municipales 5. Résidus provenant de l'épuration des eaux usées (exemple : traitement au charbon actif) 6. Résidus provenant des systèmes de contrôle de la pollution de l'air (ex. : cendres volantes) 7. Poussière 8. Rembourrage, textiles, tapis, caoutchouc 9. Équipements électriques et électroniques 10. Conteneurs et matériaux d'emballage 11. Matériaux contaminés (exemple : vêtements) 12. Véhicules et résidus de déchetage de carcasses de véhicules 13. Plastique, papier, métal, bois 14. Matériaux de démolition (matériaux peints, revêtements de sols à base de résines, produits d'étanchéité, double vitrage scellé, panneaux d'isolation) 15. Extincteur à mousse
Gazeux	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gaz de décharge 2. Gaz provenant des installations d'incinération 3. Gaz provenant des installations de recyclage 4. Gaz provenant de certains procédés (industriels)

78. Au paragraphe 1 de l'article 6, la Convention de Stockholm requiert que chaque Partie :

a) Élabore des stratégies appropriées pour identifier les stocks constitués de substances chimiques inscrites à l'Annexe A ou à l'Annexe B, ou en contenant, et les produits et articles en circulation et les déchets constitués d'une substance chimique inscrite à l'Annexe A, B ou C, en contenant, ou contaminés par cette substance ;

b) Identifie, dans la mesure du possible, les stocks constitués de substances chimiques inscrites à l'Annexe A ou à l'Annexe B, ou en contenant, sur la base des stratégies visées à l'alinéa a).

79. La liste des catégories de sources de POP produits non intentionnellement qui figure dans l'Annexe C de la Convention de Stockholm devrait aider les cadres de l'industrie et les autorités réglementaires ainsi que le public à identifier les déchets de POP produits non intentionnellement.

2. Inventaires

80. Les inventaires sont un outil important d'identification, de quantification et de caractérisation des déchets de POP.

81. L'alinéa a) de l'article 5 ainsi que l'alinéa a) du paragraphe 1 de l'article 6 et le paragraphe 1 de l'article 11 de la Convention de Stockholm fournissent des éléments qui contribuent à l'identification des sources de POP liées à la production de déchets. Aux fins de la gestion écologiquement rationnelle des déchets, il se peut qu'un inventaire plus spécifique et plus complet soit nécessaire.

82. Lors de l'établissement de l'inventaire, la priorité devrait être donnée à l'identification des flux de déchets importants en termes de volumes et de concentrations de POP. Les inventaires nationaux peuvent servir à :

- a) Fournir un point de référence quant aux quantités de produits, articles et déchets de POP ;
- b) Établir un registre d'information destiné à faciliter les contrôles de sécurité et les inspections réglementaires ;
- c) Obtenir les informations précises nécessaires pour établir des plans de stabilisation sur site ;
- d) Aider à élaborer des plans d'intervention d'urgence ; et
- e) Suivre les progrès faits en matière de réduction au minimum et d'élimination des POP.

83. Pour de plus amples informations sur l'établissement d'inventaires nationaux, voir le *Manuel méthodologique pour la mise au point d'inventaires des déchets dangereux et d'autres déchets au titre de la Convention de Bâle* (PNUE, 2015j). Ce manuel est axé sur les actions recommandées pour la mise en place de systèmes d'information nationaux fournissant les informations requises afin d'aider les pays à s'acquitter de leurs obligations au titre de la Convention de Bâle.

84. Des documents d'orientation pour l'inventaire de POP spécifiques sont également disponibles (pour les PCB, le SPFO et les BDE constituant des POP, par exemple)²¹, de même qu'une directive pour l'établissement d'inventaires des rejets de POP produits non intentionnellement (voir *Outil pour l'identification et la quantification des rejets de dioxines, furanes et autres polluants organiques persistants non intentionnels en vertu de l'Article 5 de la Convention de Stockholm* (PNUE, 2013b)).

85. En outre, il convient de noter que le Protocole de 2003 sur les registres des rejets et transferts de polluants annexé à la Convention sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement (Convention d'Aarhus) adoptée en 1998 par la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE-ONU) comporte des dispositions relatives aux inventaires qui peuvent s'appliquer aux POP.

E. Échantillonnage, analyse et surveillance

86. L'échantillonnage, l'analyse et la surveillance constituent des activités importantes dans la gestion des déchets de POP qui aident le gestionnaire des déchets et les autorités réglementaires de la gestion de ces déchets à identifier la concentration de POP contenus dans certains flux de déchets et à choisir la méthode de gestion appropriée. Ces activités peuvent s'avérer nécessaires pour contrôler que les méthodes de destruction choisies sont mises en œuvre conformément aux normes fixées et pour s'assurer que des POP ne sont pas rejetés dans l'environnement. Le contrôle et la surveillance participent à l'identification et au suivi des problèmes environnementaux et des risques sanitaires. Les informations recueillies dans le cadre des programmes de surveillance contribuent à la prise de décisions fondées sur des données factuelles et permettent d'évaluer l'efficacité des mesures de contrôle des risques, et notamment des réglementations.

87. L'échantillonnage, l'analyse et la surveillance devraient être assurés par des spécialistes dûment formés, selon un programme bien conçu et au moyen de méthodes acceptées au niveau international ou approuvées au niveau national, les mêmes méthodes étant appliquées à chaque fois

²¹ Des projets de documents d'orientation pour l'inventaire de ces POP spécifiques sont disponibles et consultables aux adresses <http://chm.pops.int/Implementation/BATandBEP/Guidance/tabid/3636/Default.aspx> et <http://chm.pops.int/Implementation/NIPs/Guidance/tabid/2882/Default.aspx>.

pendant toute la durée du programme. Ces opérations devraient en outre faire l'objet de mesures strictes d'assurance et de contrôle de la qualité. Des erreurs lors de l'échantillonnage, de l'analyse ou de la surveillance, ou des écarts par rapport aux procédures normales, peuvent se traduire par des données dénuées d'intérêt, voire dommageables pour le programme.

88. Chaque Partie devrait déterminer ses besoins en matière d'échantillonnage, d'analyse et de surveillance et veiller à ce que des capacités de laboratoire satisfaisantes au regard des normes d'exploitation soient disponibles. Une formation et des protocoles devraient exister afin de garantir le respect de ces normes et l'obtention de données de qualité et de résultats utiles. Le renforcement de ces capacités pourrait s'avérer nécessaire dans certains pays qui en seraient dépourvus.

89. Différentes méthodes d'analyse peuvent être appliquées selon la finalité de l'échantillonnage ou de la surveillance et l'état physique du déchet. On trouvera de plus amples informations dans les sources suivantes : concernant les bonnes pratiques de laboratoire, se reporter à la série d'ouvrages publiée par l'OCDE (OCDE, diverses années) et au Manuel sur les bonnes pratiques de laboratoire de l'OMS (OMS, 2009) ; pour les considérations méthodologiques générales, consulter les *Orientations pour un programme mondial de surveillance des polluants organiques persistants* (PNUE, 2015a). Pour de plus amples informations sur l'analyse des POP, voir le projet du PNUE/Fonds pour l'environnement mondial (FEM) sur les besoins de capacité en matière d'analyse des POP, consultable à l'adresse <https://www.thegef.org/project/assessment-existing-capacity-and-capacity-building-needs-analyze-pops-developing-countries>.

1. Échantillonnage²²

90. L'objectif global de toute activité d'échantillonnage est d'obtenir un échantillon convenant à l'utilisation envisagée, laquelle peut être, par exemple, la caractérisation des déchets, le contrôle de la conformité aux normes réglementaires ou la vérification de la pertinence des méthodes de traitement et d'élimination proposées. Il convient de définir l'objectif visé avant de procéder à l'échantillonnage. Il est indispensable que les exigences de qualité soient respectées en ce qui concerne l'équipement, le transport et la traçabilité.

91. Il convient d'élaborer des procédures d'échantillonnage standard et de se mettre d'accord sur ces dernières avant de lancer la campagne d'échantillonnage (en fonction de la matrice et du POP concerné). Ces procédures devraient, entre autres, préciser les points suivants :

- a) Nombre d'échantillons à prélever, fréquence d'échantillonnage, durée de la campagne et description de la méthode de prélèvement (y compris des procédures d'assurance qualité telles que le prélèvement d'échantillons de référence et l'établissement d'une chaîne de conservation des échantillons) ;
- b) Choix du lieu ou des sites et des périodes où s'effectuent les prélèvements (y compris description et situation géographique) ;
- c) Identité des échantillonneurs et conditions dans lesquelles les prélèvements se sont déroulés ;
- d) Caractéristiques détaillées et étiquetage des échantillons ;
- e) Mesures de préservation de l'intégrité des échantillons durant le transport et le stockage (avant leur analyse) ;
- f) Coopération étroite entre les échantillonneurs et le laboratoire d'analyse ;
- g) Formation appropriée du personnel chargé de l'échantillonnage.

92. Les prélèvements devraient se faire conformément à la législation nationale en la matière, lorsqu'une telle législation existe, ou aux normes et règlements internationaux. Dans les pays qui ne possèdent pas de réglementation adéquate, il convient d'employer du personnel qualifié. Le processus devrait comporter les étapes suivantes :

- a) Élaboration d'une procédure opérationnelle standard pour le prélèvement d'échantillons sur chacune des matrices aux fins d'analyse ultérieure des POP ;
- b) Application de procédures d'échantillonnage bien établies à l'exemple de celles élaborées par l'American Society for Testing and Materials (ASTM), l'Union européenne, l'Agence

²² On trouvera de plus amples informations sur l'échantillonnage dans le document intitulé « RCRA Waste Sampling Draft Technical Guidance » (Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA), 2002, et méthode Nordtest).

américaine pour la protection de l'environnement (EPA), le Système mondial de surveillance continue de l'environnement et le Comité européen de normalisation en électronique et en électrotechnique (CENELEC) (voir la Norme sur les exigences de collecte, logistique et traitement pour les DEEEE (Déchets d'équipements électriques et électroniques) – Partie 1 : Exigences générales de traitement, et notamment les spécifications pour la dépollution », et le Comité européen de normalisation (CEN) (voir EN 14899:2005 Caractérisation des déchets – Prélèvement des déchets – Procédure-cadre pour l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan d'échantillonnage et la série CEN/TR 15310 1-5: 2006 Caractérisation des déchets – Prélèvement des déchets)s ;

c) Mise en place de procédures d'assurance et de contrôle de la qualité.

93. Toutes ces étapes sont nécessaires au succès du programme d'échantillonnage. De même, la documentation devrait être très complète et rigoureuse.

94. Les prélèvements aux fins d'analyse des POP se font habituellement sur des matrices de déchets solides, liquides ou gazeuses comme, par exemple, les suivantes :

a) Liquides :

- i) Lixiviats provenant d'une décharge ou d'un centre d'enfouissement de déchets ;
- ii) Liquide collecté à la suite d'un déversement ;
- iii) Eau (eau superficielle, eau potable et effluents industriels et municipaux) ;

b) Solides :

- i) Stocks, produits et préparations constitués de POP, en contenant ou contaminés par ces substances ;
- ii) Solides provenant de sources industrielles ou de processus de traitement ou d'élimination (cendres volantes, mâchefers, boues, résidus de distillation et autres résidus, vêtements, etc.) ;
- iii) Récipients, outils ou autres matériels d'emballage (prélèvement par rinçage ou essuyage) ;
- iv) Sols, sédiments, gravats et composts ;
- v) Produits et articles de consommation.

c) Gaz :

- i) Air (intérieur) ;
- ii) Atmosphère (émissions).

2. Analyse

95. L'analyse des POP s'effectue en règle générale dans un laboratoire spécialisé. Des trousseaux d'analyse conçus à cet effet permettent, dans certaines situations, par exemple dans les régions reculées, de faire des tests sur le terrain.

96. L'analyse en laboratoire peut faire appel à divers procédés, la mise au point de méthodes d'analyse pour certains POP étant toutefois encore en cours. Les Parties devraient donc vérifier la disponibilité et les coûts des méthodes applicables aux POP qu'elles souhaitent surveiller avant d'élaborer leur programme de surveillance et d'échantillonnage. L'Organisation internationale de normalisation (ISO), le Comité européen de normalisation (CEN), l'Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA), l'Association des chimistes analytiques officiels (AOAC) et l'American Society for Testing and Materials (ASTM) ont, tous, élaboré des méthodes d'analyse des POP pour diverses matrices. La plupart des méthodes internes en sont des variantes qui, une fois validées, sont également acceptables.

97. L'identification d'un POP peut être difficile, en particulier lorsque le POP comprend un certain nombre de congénères voire d'isomères.

98. Il est recommandé d'adopter une approche par paliers pour l'analyse (aux fins de l'identification et quantification d'un POP), commençant par des étapes simples pour ensuite appliquer des méthodes plus sophistiquées. La première étape consiste à identifier les déchets susceptibles de contenir des POP afin de réduire le nombre d'échantillons (et donc le volume de déchets à éliminer). Des méthodes de détection, particulièrement utiles dans les situations où des décisions doivent être prises rapidement, ou lorsque les capacités sont limitées, réduisent en outre les coûts. En général, les trois étapes successives ci-après interviennent :

a) La détection grossière de la présence d'halogènes dans un POP, à savoir le chlore (Cl), le brome (Br) et le fluor (F). Le but de cette étape est d'identifier parmi un grand nombre d'échantillons ceux qui contiennent l'un de ces trois éléments chimiques. Des instruments portables sont disponibles pour tester ces halogènes sans « détruire » l'échantillon ; par exemple, la spectrométrie de fluorescence X (SFX) présente l'avantage d'être non destructive, multiélémentaire, rapide et rentable. Elle est applicable à une vaste fourchette de concentrations allant de 100 % à quelques parties par millions (ppm), son principal inconvénient étant que les analyses sont généralement limitées aux éléments plus lourds que le fluor (Br, Cl) et qu'elle ne permet pas de détecter une substance spécifique.

b) L'emploi de méthodes de détection biologiques ou chimiques, mises en œuvre si les résultats de l'étape 1 sont positifs. Il existe des trousse d'analyse ou des méthodes de détection simples et moins coûteuses au plan de l'instrumentation qui permettent de réduire encore le nombre d'échantillons susceptibles de contenir des POP inscrits à la Convention de Stockholm. L'utilisation des trousse d'analyse DEXSIL²³ ou de l'analyseur L2000²⁴ est bien établie pour la détermination du chlore organique, ces méthodes permettant toutes deux d'analyser les POP présents dans les échantillons d'huile ou de sols. L'emploi de méthodes bioanalytiques telles que CALUX²⁵ est reconnu pour la détection des équivalents toxiques de type dioxine. En outre, des méthodes d'extraction rapide et de chromatographie en phase gazeuse sur colonne courte conjuguées à un détecteur simple permettent d'identifier les POP chlorés.

c) La dernière étape est celle de la confirmation de l'analyse chimique, nécessaire en règle générale pour tous les échantillons ayant donné un résultat positif à l'étape 2. Cette analyse est effectuée dans des laboratoires de chimie souvent spécialisés dans un certain groupe de POP (par exemple, pesticides constituant des POP, POP de type dioxine, retardateurs de flamme bromés constituant des POP, SPFO) et un certain type de matrice. Des méthodes d'analyse chimique confirmatoires, ont été mises au point par des organismes internationaux et nationaux, notamment les suivantes :

- i) Pour les pesticides constituant des POP et les PCB : chromatographie en phase gazeuse capillaire (CPG) + détecteur à capture d'électrons (DCE), spectrométrie de masse (MS) ou spectrométrie de masse en tandem (MS/MS) ;
- ii) Pour les PBDE constituant des POP et les POP de type dioxine : CPG capillaire + MS (de préférence à haute résolution pour les substances de type dioxine) ;
- iii) Pour le SPFO : chromatographie en phase liquide (CPL) + (MS/MS) ;
- iv) Pour le HBCD : CPG/MS, CPL-MS et HPLC-MS. On peut également identifier et quantifier le HBCD par chromatographie en phase gazeuse capillaire-détection par ionisation de flamme en utilisant une référence de HBCD ;
- v) Pour le HCBd : CPG/MS et CPG+DCE ;
- vi) Pour le PCP et ses sels et esters : la détection analytique typique fait par CPG+DCE, l'emploi de détecteurs sélectifs de masse, ainsi que des méthodes CPL/MS ;
- vii) Pour les PCN : CPG/MS pour l'analyse de l'eau.

99. Il importe que les étapes décrites aux alinéas a) et b) du paragraphe 98 ci-dessus ne produisent pas de faux négatifs et que la méthode employée convienne au degré d'intérêt de l'analyse.

100. Le terme « analyse » désigne l'extraction, la purification, la séparation, l'identification, la quantification et le compte rendu des POP contenus dans la matrice étudiée. Pour pouvoir obtenir des résultats significatifs et acceptables, il faut que le laboratoire d'analyse possède l'infrastructure nécessaire (installations) et une expérience avérée de la matrice et du POP considérés (par exemple, participation réussie à des évaluations internationales d'étalonnage mutuel). Il est important qu'il soit accrédité et certifié conforme aux normes ISO 17025 ou à d'autres normes par un organisme indépendant. Les critères suivants sont indispensables à l'obtention de résultats de bonne qualité :

- a) Spécifications de la technique d'analyse utilisée ;
- b) Entretien du matériel d'analyse ;
- c) Validation de toutes les méthodes utilisées (en particulier les méthodes internes) ;

²³ Pour des informations sur les trousse d'analyse DEXSIL, voir <http://www.dexsil.com/products/>.

²⁴ Sur l'analyseur L2000, voir http://www.dexsil.com/products/detail.php?product_id=13.

²⁵ Sur la méthode CALUX, voir <http://www.crl-freiburg.eu/dioxin/bioanalytical.html>.

d) Formation du personnel.

101. L'analyse des POP s'effectue en règle générale dans un laboratoire spécialisé. Des trousseaux d'analyse permettent, dans certaines situations, de faire des tests sur le terrain.

102. L'analyse en laboratoire ne suit aucun procédé particulier. L'Organisation internationale de normalisation (ISO), le Comité européen de normalisation (CEN), l'Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA), l'Association des chimistes analytiques officiels (AOAC) et l'American Society for Testing and Materials (ASTM) ont, tous, élaboré des méthodes d'analyse des POP pour diverses matrices. La plupart des méthodes internes en sont des variantes qui, une fois validées, sont également acceptables.

103. Par ailleurs, il convient de mettre en place des procédures et des critères d'acceptation pour la manipulation et la préparation en laboratoire (par exemple, homogénéisation) des échantillons.

104. La détermination analytique comporte, entre autres, les étapes suivantes :

a) Extraction à l'aide, par exemple, d'un extracteur de Soxhlet, de la méthode d'extraction pressurisée par solvant, de celle d'extraction liquide-liquide, etc. ;

b) Purification, par exemple, par chromatographie sur colonne ou sur Florisil. Cette purification devrait être suffisamment efficace pour empêcher la matrice d'influencer la rétention chromatographique ;

c) Séparation par chromatographie en phase gazeuse capillaire (CPGC) qui permet d'obtenir une séparation suffisante des analytes ;

d) Identification à l'aide d'un détecteur approprié, tel que DCE ou détecteur sélectif de masse, ou d'un spectromètre de masse à faible ou à haute résolution ;

e) Quantification selon les méthodes internes standard (pour référence, voir PNUE 2015d et PNUE 2006b) ; et

f) Compte rendu conformément à la réglementation en vigueur.

3. Surveillance

105. Aux termes de l'alinéa b) du paragraphe 2 de l'article 10 (« Coopération internationale ») de la Convention de Bâle, les Parties doivent coopérer « en vue de surveiller les effets de la gestion des déchets dangereux sur la santé humaine et l'environnement ». En vertu du paragraphe 1 de l'article 11 de la Convention de Stockholm, les Parties, dans la mesure de leurs moyens, doivent encourager et/ou entreprendre aux niveaux national et international des activités appropriées de surveillance concernant les POP.

106. Des programmes de surveillance devraient être mis en œuvre pour les installations assurant la gestion des déchets de POP, car ils permettent de déterminer si une opération de gestion des déchets dangereux donne les résultats prévus à la conception et respecte les réglementations environnementales.

107. Dans les programmes de surveillance de l'environnement et de la population humaine, il est possible de rajouter des matrices aussi bien biotiques qu'abiotiques telles que :

a) Végétaux et aliments ;

b) Poissons et espèces sauvages ;

c) Fluides biologiques (p. ex. lait maternel, sang, urine) ;

d) Air (ambiant, dépôts humides ou secs tels que neige, glace, poussière) ;

e) Eau (p. ex. lixiviats, eaux usées) ;

f) Sols ;

g) Sédiments.

108. Les informations obtenues devraient être utilisées pour :

a) Détecter tout rejet dans l'environnement ou toute évolution de la qualité de celui-ci ;

b) S'assurer de la bonne gestion des différents types de déchets dangereux au cours de cette opération ;

c) Identifier les questions potentielles liées au rejet ou à l'exposition éventuels et déterminer la nécessité de modifier la stratégie de gestion.

109. La mise en œuvre d'un programme de surveillance permet aux gouvernements, aux autorités réglementaires, aux municipalités et aux directeurs des installations de recyclage ou de gestion des déchets d'identifier les problèmes et de prendre les mesures adéquates pour y remédier. On trouvera de plus amples informations sur la surveillance dans les documents sur la surveillance et la recherche dans le cadre du Plan de gestion des produits chimiques (Gouvernement du Canada, 2011 ; Environnement Canada, 2011) ; les documents de référence sur les principes généraux de surveillance (Commission européenne, 2003) ; les documents d'orientation pour un Programme mondial de surveillance des POP (PNUE, 2015a) ; et du Ministère japonais de l'Environnement (2013a) ; et dans la Base de données fédérales et des länders sur les dioxines de l'Agence fédérale allemande pour l'environnement basée à Dessau-Roßlau (2014).

F. Manipulation, collecte, emballage, étiquetage, transport et stockage

110. La manipulation, la collecte, l'emballage, l'étiquetage, le transport et le stockage sont des étapes critiques, le risque de déversement accidentel, de fuite ou d'incendie pouvant être aussi élevé qu'aux autres stades du cycle de vie d'un POP.

111. Des considérations et des dispositions propres aux flux de déchets de POP sont présentées, le cas échéant, dans les directives techniques spécifiques sur les POP. Une approche spécialement conçue pour certains de ces flux (articles et produits réduits à l'état de déchets, par exemple) est souhaitable compte tenu de la diversité de leurs sources, des types de déchets, des volumes et des concentrations de POP. De cette manière, les décideurs peuvent prendre en considération les risques que les divers flux de déchets pourraient poser à différentes étapes de leur gestion ; en outre, des mesures appropriées pourraient être nécessaires afin de prévenir, d'éliminer ou de réduire au minimum leur impact sur l'environnement. Les meilleures pratiques en matière de gestion, dans certains cas, en sont aux premiers stades de leur élaboration ou de leur documentation.

112. S'il y a lieu, le recours aux procédures et procédés de gestion des déchets dangereux devrait être envisagé pour la manipulation, la collecte, l'emballage, l'étiquetage, le transport et le stockage des déchets de POP où les taux de ces substances dépassent la faible teneur visée à la section III.A, afin d'empêcher que des déversements et des fuites n'entraînent une exposition des travailleurs, des rejets dans l'environnement ou une exposition du public.

113. On devra collecter et analyser des informations pertinentes concernant les caractéristiques de danger et les risques des déchets de POP afin d'établir des plans en vue de la bonne manipulation de ces déchets, par exemple en consultant et en suivant les indications données sur les produits chimiques qu'ils contiennent et les fiches de données de sécurité correspondantes. Pour l'étiquetage et l'emballage, on devra tenir compte à cette fin du Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques (SGH).

114. Pour le transport et les mouvements transfrontières des déchets de POP répondant aux critères des déchets dangereux, il faudrait consulter les documents suivants afin d'établir des prescriptions spécifiques :

- a) Manuel de mise en œuvre de la Convention de Bâle (PNUE, 2015h) ;
- b) Code maritime international des marchandises dangereuses (Organisation maritime internationale (OMI), 2002) ;
- c) Instructions techniques pour la sécurité du transport aérien des marchandises dangereuses publiées par l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) ;
- d) Recommandations des Nations Unies relatives au transport des marchandises dangereuses – Règlement type²⁶.

115. Pour les sections 1 à 6 ci-après, des informations détaillées sont disponibles dans l'ouvrage intitulé *Destruction and decontamination technologies for PCBs and other POP waste under the Basel Convention: A training manual for hazardous waste project managers* (PNUE, 2002a).

²⁶ Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR) ; Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures (ADN) ; Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses (RID).

1. Manipulation²⁷

116. Les principaux sujets de préoccupation liés à la manipulation des déchets de POP sont l'exposition humaine, les rejets accidentels dans l'environnement et la contamination d'autres flux de déchets par les POP. Les déchets de POP devraient être manipulés séparément des autres types de déchets, afin de prévenir la contamination de ces derniers. La gestion des flux de déchets liquides, notamment, et d'autres flux de déchets s'il y a lieu, devrait inclure les pratiques recommandées suivantes :

- a) Inspection des contenants en vue de détecter les fuites, trous, signes de corrosion ou élévations de température éventuels suivie, le cas échéant, d'un réemballage et d'un étiquetage appropriés des produits ;
- b) Manipulation des déchets à des températures inférieures à 25 °C si possible, en raison de leur volatilité accrue à des températures supérieures ;
- c) Vérification de l'efficacité des mesures prévues en cas de déversement accidentel et de leur capacité à contenir les déchets liquides qui pourraient être déversés ;
- d) Mise en place de bâches plastiques ou de tapis absorbants sous les contenants avant leur ouverture si la surface de la zone de confinement n'est pas revêtue d'un matériau lisse (peinture, uréthane, époxy) ;
- e) Récupération des déchets liquides soit par retrait du bouchon de vidange soit par pompage à l'aide d'une pompe péristaltique et d'un tuyau adéquat résistant aux agents chimiques ;
- f) Utilisation de pompes, tuyaux et fûts spécifiques, réservés à cet usage, pour le transfert des déchets liquides ;
- g) Nettoyage de tout produit déversé avec des chiffons, des serviettes en papier ou un absorbant ;
- h) Triple rinçage des surfaces contaminées avec un solvant ;
- i) Traitement de tous les absorbants et du solvant utilisé pour le triple rinçage, ainsi que des vêtements de protection jetables et des bâches plastiques, comme des déchets constitués de POP, en contenant ou contaminés par ces derniers, le cas échéant ; et
- j) Formation du personnel aux manières correctes de manipuler les déchets de POP.

2. Collecte

117. Les grandes entreprises peuvent être tenues d'assurer une bonne gestion des déchets de POP qu'elles produisent ou qu'elles détiennent, mais un grand nombre de petites entités possèdent aussi des déchets de ce type. Les déchets de POP qui sont détenus par de petites entités peuvent être, par exemple, des conteneurs de pesticides en quantités domestiques ou industrielles, des ballasts d'éclairage fluorescent aux PCB, de petites boîtes de produits à base de pentachlorophénol pour le traitement du bois contaminés par des PCDD et des PCDF, de petites quantités de POP « purs » détenus dans des laboratoires et centres de recherche ou des graines enrobées de pesticides pour l'agriculture ou la recherche. Pour gérer cet assortiment de déchets dangereux dispersés, de nombreux gouvernements ont créé des dépôts où de petites quantités de déchets de ce type peuvent être déposées gratuitement ou pour une somme minime par leurs détenteurs. Il s'agit de dépôts permanents ou temporaires qui peuvent être situés dans des stations commerciales de transfert de déchets dangereux existantes. Les dépôts et stations de transfert de déchets peuvent être établis au niveau régional par des groupes de pays, ou être mis à la disposition d'un pays en développement par un tiers.

118. Aux fins de la mise en place et de la gestion de programmes de collecte, de dépôts et de stations de transfert de déchets, il convient :

- a) De faire connaître le programme, l'emplacement des dépôts et les horaires de collecte à tous les détenteurs potentiels de déchets de POP ;
- b) De maintenir les programmes de collecte pendant suffisamment longtemps pour collecter tous les déchets potentiels de POP²⁸ ;

²⁷ Des directives sur la manipulation sans risque des produits dangereux et la prévention des accidents ont notamment été publiées par l'Organisation internationale du Travail (OIT, 1999a et 1999b) et l'OCDE (OCDE, 2003).

- c) D'inclure dans le programme, dans la mesure du possible, tous les déchets de POP ;
- d) De mettre à la disposition des détenteurs de déchets des récipients adéquats et des matériaux de transport sûrs pour les déchets pouvant nécessiter un réemballage ou des mesures de sécurité en vue du transport ;
- e) D'instaurer des mécanismes de collecte simples et peu coûteux ;
- f) D'assurer la sécurité des personnes apportant des déchets aux dépôts et du personnel des dépôts ;
- g) De veiller à ce que les exploitants des dépôts utilisent une méthode d'élimination acceptée ;
- h) De veiller à ce que le programme et les installations soient conformes à toutes les prescriptions réglementaires applicables ; et
- i) De veiller à ce que les déchets de POP soient séparés des autres flux de déchets.

3. Emballage

119. Les déchets de POP, qu'ils soient ou non dangereux, devraient être emballés convenablement de façon à faciliter le transport et à titre de mesure de sécurité destinée à réduire le risque de fuites ou de déversements.

120. On distingue deux catégories d'emballages pour les déchets dangereux : les emballages de transport et les emballages de stockage. L'emballage aux fins du transport est souvent réglementé par une législation nationale sur le transport des marchandises dangereuses. Pour les spécifications relatives à l'emballage aux fins du transport, le lecteur devrait consulter les documents de référence publiés par l'IATA, l'OMI, la CEE-ONU, SGH et les gouvernements.

121. On trouvera ci-après quelques préceptes généraux concernant l'emballage des déchets de POP :

- a) Un emballage qui est acceptable pour le transport convient le plus souvent pour le stockage, à moins que des exigences plus strictes soient spécifiées pour le stockage ;
- b) Les déchets de ce type qui se trouvent dans l'emballage d'origine du produit peuvent généralement être stockés en toute sécurité si cet emballage est en bon état ;
- c) Les déchets de POP ne devraient jamais être stockés dans des emballages de produit qui n'ont pas été conçus pour contenir de tels déchets ou qui portent des étiquettes n'identifiant pas correctement leur contenu ;
- d) Les emballages en cours de détérioration ou jugés peu sûrs devraient être vidés ou placés dans un emballage extérieur (suremballage) sûr. Lorsque des emballages peu sûrs sont vidés, leur contenu devrait être placé dans des récipients appropriés, neufs ou remis en état. Ces derniers devraient porter une étiquette indiquant clairement leur contenu ;
- e) Plusieurs récipients de petites dimensions peuvent être placés ensemble dans des emballages de plus grande taille adaptés ou agréés contenant un matériau absorbant ;
- f) Les équipements hors service contenant des POP peuvent constituer ou non un emballage adapté pour le stockage. Une évaluation de leur sécurité devrait être effectuée au cas par cas.

4. Étiquetage²⁹

122. L'étiquetage des produits contenant des POP pourrait être nécessaire pour gérer efficacement les produits lorsqu'ils parviennent à l'état de déchets.

123. L'étiquetage des conteneurs de déchets de POP constitue une mesure de sécurité fondamentale et un élément important pour le succès de tout système de gestion des déchets. Tout conteneur de déchets devrait porter une étiquette identifiant le conteneur lui-même (numéro d'identification, par exemple) et les POP qu'il contient, ainsi que le degré de risque qu'il pose.

²⁸ Pour assurer une collecte complète, il peut être nécessaire que les dépôts fonctionnent de manière continue ou intermittente pendant plusieurs années.

²⁹ Des normes internationales pour l'étiquetage et l'identification appropriés des déchets ont été élaborées. Des directives sur l'étiquetage et l'identification appropriés des matières dangereuses ont été publiées par la CEE-ONU (2003b). Voir aussi FAO, 2001 ; PNUE 2015h ; et PNUE et ONUDI *et al.*, 2012.

5. Transport

124. Les déchets de POP devraient être transportés de manière écologiquement rationnelle afin d'éviter les déversements accidentels et de pouvoir vérifier convenablement leurs déplacements et leur destination finale. Avant le transport, il convient de préparer des plans d'intervention d'urgence afin de réduire au minimum les impacts écologiques des éventuels déversements, incendies et autres situations d'urgence pouvant survenir au cours du transport. Les déchets transportés devraient être identifiés, emballés et manipulés conformément aux « Recommandations des Nations Unies relatives au transport des marchandises dangereuses - Règlement type (Livre orange) ». Les convoyeurs devraient être qualifiés et agréés pour le transport de matières et déchets dangereux.

125. Dans la plupart des pays, le transport de marchandises et déchets dangereux est réglementé. Les mouvements transfrontières de déchets dangereux sont régis par la Convention de Bâle.

126. Les sociétés qui convoient des déchets à l'intérieur des frontières de leur propre pays devraient être des transporteurs certifiés de matières et de déchets dangereux employant un personnel qualifié.

127. Des directives sur la sécurité lors du transport de matières dangereuses peuvent être obtenues auprès de l'IATA, de l'OMI et de l'OACI.

6. Stockage³⁰

128. Conformément aux sections A et B de l'annexe IV à la Convention de Bâle, le stockage (opérations D5 et R13) est une opération temporaire qui précède d'autres opérations d'élimination. Après avoir été convenablement emballés (voir la sous-section IV.F.3 sur l'emballage), les déchets de POP devraient être stockés de façon sûre, de préférence à l'écart des zones de captage d'eau potable et dans des zones spéciales à l'écart des autres matières et déchets. Toutefois, ils peuvent être stockés avec d'autres déchets s'ils sont destinés à la même opération d'élimination, comme indiqué dans la section IV.G. Les zones de stockage devraient être conçues de façon à prévenir les rejets de POP dans l'environnement par quelque voie que ce soit. Les locaux, zones et bâtiments de stockage devraient être conçus par des spécialistes ayant des compétences dans les domaines de la conception des structures, de la gestion des déchets et de la santé-sécurité au travail, ou peuvent être acquis sous forme préfabriquée auprès de fournisseurs de bonne réputation approuvés, le cas échéant, par les autorités.

129. Au besoin, les déchets de POP devraient être séparés à la source afin d'assurer la mise en place de dispositions appropriées pour leur collecte, y compris l'utilisation de réservoirs de collecte, compte tenu de leur caractéristiques de danger et du risque d'exposition qu'ils présentent.

130. Les principes de base applicables à la sécurité du stockage des déchets de POP sont notamment les suivants :

- a) Les lieux de stockage situés à l'intérieur de bâtiments multifonctions devraient se trouver dans un local ou un espace cloisonné réservé à cet effet et fermé à clé, en dehors des zones très fréquentées ;
- b) Les structures ou récipients (on utilise souvent des conteneurs de transport pour le stockage) disposés à l'extérieur pour le stockage exclusif de ces déchets devraient être protégés par une enceinte dotée d'une porte fermant à clé ;
- c) Il pourrait être exigé d'utiliser des zones, locaux ou bâtiments de stockage distincts pour chaque type de déchets de POP, à moins que leur stockage conjoint n'ait été approuvé expressément ;
- d) Ces déchets ne devraient pas être stockés sur ou près des sites sensibles, tels que les hôpitaux et autres établissements de soins, écoles, résidences, entreprises agro-alimentaires, installations de stockage ou de préparation d'aliments pour animaux, exploitations agricoles ou installations situées à proximité ou à l'intérieur de sites écologiquement sensibles ;
- e) Les locaux, bâtiments et bacs de stockage devraient être placés et maintenus dans des conditions propres à réduire au minimum la volatilisation (températures suffisamment basses, toit et revêtements extérieurs réfléchissants, emplacement ombragé, etc.). Si possible, particulièrement sous les climats chauds, il faudrait maintenir les locaux et bâtiments de stockage en dépression avec filtration au charbon des gaz dégagés, en tenant compte des conditions suivantes :

³⁰ Pour de plus amples informations, voir le document intitulé « Storage of Hazardous Materials : A Technical Guide for Safe Warehousing of Hazardous Materials » (PNUE, 1993) et le Manuel sur le stockage des pesticides et le contrôle des stocks (FAO, 1996). Pour les références complètes, voir l'annexe III (Bibliographie) ci-après.

- i) La ventilation avec filtration au charbon peut s'imposer lorsque l'objectif est d'éviter d'exposer aux vapeurs ceux qui travaillent ou vivent sur le site ou à proximité de celui-ci ;
- ii) Lorsque la protection de l'environnement est l'objectif primordial, il conviendrait éventuellement d'assurer l'étanchéité et la ventilation du site, de façon à ce que seuls des gaz filtrés soient rejetés à l'extérieur ;
- f) Les structures ou bacs de stockage devraient être en bon état et constitués de plastique dur ou de métal, et non de bois, panneaux de fibres, cloisons sèches, plâtre ou matériau isolant ;
- g) Leur toit et le terrain environnant devraient être en pente afin d'assurer le drainage des eaux hors du site ;
- h) Ils devraient être placés sur de l'asphalte, du béton ou un revêtement plastique durable (épaisseur de 6 mm, par exemple) ;
- i) Le sol des lieux de stockage situés à l'intérieur de bâtiments devrait être en béton ou couvert d'une matière durable (bâche plastique de 6 mm d'épaisseur, par exemple). Le béton devrait être enduit d'un revêtement polymère époxy durable ;
- j) Les sites de stockage devraient être équipés de systèmes d'alarme incendie ;
- k) Les espaces de stockage situés à l'intérieur de bâtiments devraient être équipés de systèmes d'extinction (utilisant de préférence un agent extincteur autre que l'eau). Si l'agent extincteur est de l'eau, le plancher du local de stockage devrait être entouré d'une bordure et le système de drainage du sol ne devrait pas se déverser à l'égout, dans le collecteur d'eau de pluie ou directement dans les eaux de surface, mais disposer de son propre collecteur, de type puisard, par exemple ;
- l) Les déchets liquides devraient être placés dans des bacs de rétention ou sur des aires entourées d'une bordure et étanches aux fuites. La capacité de rétention des liquides devrait être au moins égale à 125 % du volume de déchets liquides, compte tenu de l'espace occupé par les objets entreposés sur l'aire de rétention ;
- m) Les solides contaminés devraient être stockés dans des récipients scellés comme, par exemple, des fûts, seaux ou boîtes à déchets en acier (caissons amovibles), ou dans des boîtes ou bacs conçus spécialement à cette fin. Les grands volumes de matières peuvent être stockés en vrac dans des conteneurs, bâtiments ou enceintes sécurisées réservés à cette fin, à condition que ceux-ci soient conformes aux prescriptions de sûreté et de sécurité énoncées dans le présent document ;
- n) Un inventaire complet des déchets présents sur le site de stockage devrait être établi et mis à jour à mesure que les déchets arrivent ou qu'ils sont éliminés ;
- o) Une signalisation aux abords du site devrait indiquer qu'il s'agit d'un site de stockage de déchets ;
- p) Le site devrait faire l'objet d'inspections régulières portant sur les points suivants : fuites, dégradation des matériaux des conteneurs, vandalisme, intégrité des systèmes d'alarme incendie et des systèmes d'extinction et état général du site.

G. Élimination écologiquement rationnelle

1. Traitement préalable³¹

131. Cette section présente certaines des opérations de traitement préalable qui peuvent être nécessaires pour une mise en œuvre appropriée et sûre des techniques d'élimination décrites dans les sous-sections 2 et 3 ci-après. On peut effectuer d'autres opérations de traitement préalable. Les opérations de traitement préalable effectuées préalablement à l'élimination conformément aux sous-sections IV.G.2 et IV.G.3 ne devraient l'être qu'à la condition que les POP séparés des déchets lors du traitement préalable soient ensuite éliminés conformément à la sous-section IV.G.2. Lorsqu'une partie seulement d'un produit ou d'un déchet (appareil réduit à l'état de déchet, par exemple) contient des POP ou est contaminée par ces substances, elle devrait être séparée puis éliminée comme indiqué dans les sous-sections IV.G.1 à 4.

³¹ Des informations complémentaires sur le traitement préalable se trouvent dans les directives techniques de la Convention de Bâle sur le traitement physico-chimique/traitement biologique des déchets dangereux. PNUE, 2000a.

a) Adsorption et absorption

132. « Sorption » est un terme général couvrant à la fois les processus d'absorption et d'adsorption. La sorption est une méthode de traitement préalable selon laquelle des solides sont utilisés pour débarrasser des liquides ou des gaz de substances qu'ils contiennent. L'adsorption consiste à séparer une substance (liquide, huile, gaz) d'une phase et à l'accumuler à la surface d'une autre substance (charbon actif, zéolithe, gel de silice, etc.). L'absorption est le processus au cours duquel une matière transférée d'une phase à une autre interpénètre la seconde pour former une solution (lors du transfert d'un contaminant d'une phase liquide sur du charbon actif granulaire, par exemple). Le charbon actif granulaire est largement employé, en raison de son efficacité, de sa souplesse d'utilisation et de son coût relativement faible, pour débarrasser les eaux usées de leurs contaminants organiques.

133. Les processus d'adsorption et d'absorption peuvent être utilisés pour extraire des contaminants des effluents aqueux et gazeux. Le concentrat et l'adsorbant ou l'absorbant peuvent nécessiter un traitement avant leur élimination.

b) Combinaison

134. La combinaison préalable de déchets pour constituer une matière première homogène peut se justifier pour permettre le traitement ou optimiser l'efficacité de celui-ci. Cependant, la combinaison de déchets présentant un taux de POP supérieur à la valeur définie pour la faible teneur avec d'autres matériaux dans le but d'obtenir un taux égal ou inférieur à ladite faible teneur n'est pas écologiquement rationnel.

c) Désorption

135. La désorption peut être chimique ou thermique. La désorption thermique (par exemple, par le biais d'un recyclage thermique sous vide ou de l'utilisation d'un réacteur à lit toroïdal ou encore par préchauffage des déchets liquides) est une technique faisant appel à la chaleur pour accroître la volatilité des contaminants afin de les extraire (les séparer) d'une matrice solide (en règle générale sol, boue ou tourteau de filtrage). Il existe des désorbeurs à chauffage direct ou à chauffage indirect. Les procédés de désorption thermique peuvent également être de deux types : désorption thermique à haute température et désorption thermique à basse température. Lors d'une désorption thermique à haute température, les déchets sont chauffés à une température comprise entre 320° C et 550° C et lors d'une désorption à basse température entre 90° C et 350° C. La désorption thermique à basse température, encore appelée volatilisation par chauffage à faible température, stripping ou grillage des sols, est utilisée pour les composés et éléments volatils et semi-volatils (le plus souvent des hydrocarbures de pétrole) des milieux contaminés (le plus souvent des déblais de terre). Des procédés de ce type ont été utilisés pour la décontamination des surfaces non poreuses d'appareils électriques tels que des carcasses de transformateurs ayant renfermé des fluides diélectriques contenant des PCB ou des lampes fluorescentes qui contenaient du mercure. La désorption thermique des déchets de POP peut entraîner la formation non intentionnelle de POP susceptibles de nécessiter le traitement supplémentaire des déchets traités ou des effluents gazeux.

d) Déshydratation

136. La déshydratation est un procédé de traitement préalable au cours duquel l'eau que contiennent les déchets à traiter est en partie éliminée. Elle peut être employée pour les techniques d'élimination qui ne conviennent pas pour les déchets aqueux. L'eau réagit de façon explosive en présence de sels fondus ou de sodium. Selon la nature du contaminant, les vapeurs formées peuvent nécessiter une condensation ou un lavage et un traitement supplémentaire.

e) Démantèlement/désassemblage

137. Le démantèlement ou désassemblage est un procédé de traitement préalable consistant à démonter les équipements, composants ou assemblages pour en séparer les matériaux et ainsi accroître les possibilités de réutilisation, de remise en état, de recyclage et d'élimination finale.

f) Dissolution

138. Il s'agit d'un traitement préalable par lequel un déchet (liquide, solide ou gaz) est dissout dans un solvant.

g) Distillation

139. Processus qui consiste à séparer un solvant d'un mélange en appliquant à ce dernier une énergie thermique. Les constituants se vaporisent, puis la vapeur est condensée à un stade ultérieur. Grâce à ce procédé, le solvant est séparé, ce qui permet de le récupérer par la suite et de réduire le volume de déchets destiné à une élimination définitive par d'autres procédés.

h) Séchage

140. Le séchage est un procédé de traitement préalable qui extrait l'eau ou un solvant des déchets solides, semi-solides ou liquides en l'évaporant. En général, un flux gazeux, d'air par exemple, apporte la chaleur par convection et évacue la vapeur sous forme d'humidité. Le séchage sous vide peut également être employé si la chaleur est amenée par conduction ou radiation (ou microondes), la vapeur produite pouvant être éliminée par dépression.

i) Séparation mécanique

141. On peut recourir à une séparation mécanique pour éliminer les gros débris du flux de déchets ou dans le cas de techniques qui peuvent ne pas convenir pareillement aux sols et aux déchets solides.

j) Filtration sur membrane

142. La filtration membranaire est un procédé de séparation sur film fin de deux composés ou plus présents dans un liquide, employée comme solution pour le traitement conventionnel des eaux usées. Il s'agit d'un procédé de séparation sous pression ou sous vide où les contaminants peuvent être rejetés par une barrière artificielle, fonctionnant principalement par exclusion de taille. La nanofiltration et l'osmose inverse sont deux exemples des différents types de traitement membranaire applicables aux POP.

k) Mélange

143. Un mélange des matières, sans combinaison, avant le traitement des déchets peut se justifier pour permettre le traitement ou optimiser l'efficacité de celui-ci. Toutefois, le mélange à d'autres matières de déchets où les taux de POP dépassent la faible teneur définie dans le seul but d'obtenir un mélange où les taux de POP restent égaux ou inférieurs à cette faible teneur n'est pas écologiquement rationnel.

l) Séparation huile/eau

144. Certaines techniques de traitement ne conviennent pas pour les déchets aqueux, et d'autres ne conviennent pas pour les déchets huileux. On peut en pareil cas recourir à une séparation huile/eau. La phase aqueuse et la phase huileuse ainsi isolées peuvent, toutes les deux, être contaminées et nécessiter chacune un traitement.

m) Ajustement du pH

145. Certaines techniques de traitement sont plus efficaces dans une plage de pH donnée et, en pareil cas, on utilise souvent une base, un acide ou du dioxyde de carbone pour contrôler le niveau de pH. Certaines techniques peuvent également nécessiter un ajustement du pH après le traitement.

n) Sédimentation

146. La sédimentation est un processus physique par lequel les particules se déposent par gravité. Des agents chimiques peuvent être ajoutés pour faciliter le processus de sédimentation.

o) Réduction de la taille

147. Certaines techniques peuvent être utilisées uniquement pour traiter des déchets en-deçà d'une certaine granulométrie. Par exemple, certaines d'entre elles peuvent être utilisées uniquement pour traiter des déchets solides contaminés par des POP dont la granulométrie est inférieure à 200 mm. On peut alors réduire la taille des composants des déchets à un diamètre donné, par exemple par écrasage, cisailage ou broyage. D'autres techniques d'élimination nécessitent la préparation de boues avant l'injection des déchets dans le réacteur principal. Il convient de noter que les installations peuvent être contaminées lors de la réduction de la granulométrie de déchets de POP. Il faudrait donc prendre des précautions pour prévenir toute contamination ultérieure des flux de déchets ne contenant pas de POP.

p) Lavage aux solvants

148. Le lavage aux solvants peut être utilisé pour débarrasser des appareils électriques tels que les condensateurs et les transformateurs des POP qu'ils contiennent. Cette technique a également été employée pour le traitement des sols contaminés et des matériaux de sorption utilisés lors du traitement préalable par adsorption ou absorption.

q) Stabilisation et solidification

149. La stabilisation et la solidification doivent être utilisées conjointement pour être écologiquement rationnelles. La stabilisation des déchets désigne la transformation chimique des constituants dangereux des déchets en des matières moins solubles, mobiles ou toxiques. La solidification des déchets renvoie aux modifications des propriétés physiques que l'on impose aux

déchets pour augmenter leur force compressive, diminuer leur perméabilité et encapsuler leurs constituants dangereux. De nombreux flux de déchets nécessitent un traitement préalable ou l'utilisation d'additifs spéciaux avant stabilisation et solidification. Il est recommandé d'effectuer des essais d'applicabilité et de durabilité avant de procéder à la stabilisation et à la solidification.

r) Vaporisation

150. La transformation préalable de substances liquides ou solides en gaz peut se justifier pour permettre leur traitement ou optimiser l'efficacité de celui-ci.

s) Réduction du volume

151. La réduction du volume des déchets par compression ou compaction de manière à les condenser peut être appropriée pour faciliter la manipulation, le transport, le stockage et l'élimination.

2. Méthodes de destruction et de transformation irréversible

152. Les opérations d'élimination suivantes mentionnées aux sections A et B de l'annexe IV à la Convention de Bâle devraient être autorisées aux fins de la destruction et de la transformation irréversible des POP contenus dans les déchets, lorsqu'elles sont appliquées de façon à garantir que les déchets et rejets résiduels ne présentent pas les caractéristiques de POP :

- a) D9 : Traitement physico-chimique ;
- b) D10 : Incinération à terre ;
- c) R1 : Utilisation comme combustible (autrement qu'en incinération directe) ou autre moyen de produire de l'énergie ; et
- d) R4 : Recyclage ou récupération des métaux ou des composés métalliques, mais limités aux activités de métallurgie primaire et secondaire décrites au point k) ci-après.

153. Les POP isolés d'un flux de déchets lors d'un traitement préalable doivent ensuite être éliminés au moyen de l'opération D9 ou D10.

154. Les sous-sections a) à k) ci-après décrivent les procédés disponibles sur le marché pour la destruction et la transformation irréversible de manière écologiquement rationnelle des POP contenus dans des déchets capables d'atteindre les niveaux de destruction et de transformation irréversible mentionnés à la section III.B³². Le tableau 4 ci-dessous donne un aperçu de ces opérations. Ce tableau devrait être utilisé conjointement avec les paragraphes ci-après afin de parvenir à une meilleure compréhension des nombreux facteurs à prendre en considération avant de prendre une décision quant au recours à des méthodes de destruction et de transformation irréversible. Il convient de noter que des textes législatifs nationaux pertinents s'y appliquent et que ces opérations devraient être utilisées conformément aux normes en matière de meilleures techniques disponibles et de meilleures pratiques environnementales établies par la Convention de Stockholm figurant dans les *Directives relatives aux meilleures techniques disponibles et les orientations provisoires concernant les meilleures pratiques environnementales du point de vue de l'article 5 et de l'Annexe C de la Convention* (PNUE, 2007). Le non respect des normes énoncées dans les directives relatives aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales peut entraîner la formation et le rejet de POP dans l'environnement.

155. Les technologies émergentes ne sont pas décrites dans cette sous-section car leur disponibilité sur le marché et leur performance en matière de destruction et de transformation irréversible des POP ne sont pas documentées.

156. Un rendement de destruction minimum égal à 99,999 % assorti, le cas échéant, de la condition supplémentaire d'un rendement d'élimination par destruction égal à 99,9999 % fournissent des paramètres de référence concrets pour évaluer les performances des techniques d'élimination décrites dans les sous-sections a) à k) ci-après. On pourrait, au cas par cas, préférer des rendements de destruction démontrés supérieurs. Le rendement de destruction et le rendement d'élimination par destruction devraient être utilisés ensemble pour démontrer le niveau de destruction et de transformation irréversible ; comme ni l'un ni l'autre ne tient compte de la possibilité que le POP initial soit transformé de manière non intentionnelle en un autre POP, les rejets potentiels de POP produits de manière non intentionnelle devraient être pris en considération lors du choix d'une opération particulière.

³² On trouvera de plus amples informations sur les techniques actuelles et émergentes dans les documents suivants : PNUE, 2004a ; *volumes A and B* de PNUE, 2002a (*en cours d'actualisation*) ; STAP 2011 et PNUE, 2007. Pour les références complètes, voir l'annexe III (Bibliographie) ci-après.

Tableau 4 : Aperçu des techniques disponibles pour la destruction et la transformation irréversible des POP contenus dans les déchets

Technique	POP									
	HBB	HBCD	HCBD	PCB	PCDD/ PCDF	PCN	PCP	Pesticides constituant des POP	SPFO	BDE constituant des POP
a) Réduction par un métal alcalin	n.d.	n.d.	n.d.	Oui	n.d.	n.d.	n.d.	Oui, pour certains pesticides: chlordane, HCH	n.d.	n.d.*
b) Incinération avancée des déchets solides	n.d.	Oui	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Oui	n.d.	n.d.	Oui
c) Décomposition catalysée par une base	n.d.	n.d.	n.d.	Oui	Oui	n.d.	Oui	Oui, pour certains pesticides : chlordane, HCH DDT, HCB	n.d.	n.d.
d) Hydro-déchloration catalytique	n.d.	s.o.	n.d.	Oui	Oui	n.d.	n.d.	n.d.	s.o.	s.o. **
e) Co-incinération en four de cimenterie	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui, pour tous les pesticides	Oui	Oui
f) Réduction chimique en phase gazeuse	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui, pour tous les pesticides	Oui	Oui
g) Incinération des déchets dangereux	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui, pour tous les pesticides	Oui	Oui
h) Jet de plasma	n.d.	n.d.	n.d.	Oui	n.d.	n.d.	n.d.	Oui, pour la plupart des pesticides, y compris chlordane, chlordécone, DDT, endosulfan, heptachlore	n.d.	n.d.
i) Décomposition par fusion plasma	n.d.	n.d.	n.d.	Oui	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
j) Oxydation dans l'eau supercritique et oxydation dans l'eau sous-critique	n.d.	n.d.	n.d.	Oui	Oui, pour les PCDD	n.d.	n.d.	Oui, pour certains pesticides : chlordane et DDT	n.d.	n.d.
k) Production de métaux par procédés thermiques et métallurgiques	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Oui	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Oui

* « n.d. » signifie « non déterminé » et indique l'absence d'informations confirmant l'utilisation de la technique pour certains POP.

** « s.o. » signifie « sans objet ».

a) Réduction par un métal alcalin³³

157. *Description du procédé* : la réduction par un métal alcalin consiste à traiter les déchets à l'aide de métaux alcalins dispersés. Le métal alcalin réagit avec le chlore contenu dans les déchets halogénés pour donner des sels et des déchets non halogénés. En règle générale, le processus se déroule à la pression atmosphérique et à des températures comprises entre 60 et 180 °C³⁴. Le traitement peut s'effectuer soit in situ (dans le cas de transformateurs contaminés par des PCB, par exemple), soit *ex-situ*, dans les réacteurs. Il existe plusieurs variantes de ce procédé (Piersol, 1989). Bien que le potassium ou un alliage potassium-sodium aient été utilisés comme des agents réducteurs, le plus couramment employé est le sodium métallique. Les informations présentées dans les paragraphes

³³ Pour de plus amples informations, voir PNUE, 1998 ; PNUE, 2000 ; et PNUE, 2004a.

³⁴ Ariizumi *et al.*, 1997.

suiuants de cette sous-section sont basées sur l'expérience acquise lors de l'utilisation du sodium métallique.

158. *Rendement* : des rendements de destruction supérieurs à 99,999 % et des rendements d'élimination par destruction de 99,9999 % ont été rapportés dans le cas du chlordane, du HCH et des PCB (Ministère japonais de l'environnement, 2004). Il a aussi été démontré que le procédé de réduction par le sodium répondait aux critères réglementaires de l'Afrique du Sud, de l'Australie, du Canada, des États-Unis, du Japon et de l'Union Européenne pour le traitement des huiles de transformateurs aux PCB, à savoir moins de 2 mg/kg dans les résidus solides et liquides (PNUE, 2004b).

159. *Types de déchets* : la démonstration de la réduction par le sodium a été apportée pour des huiles contaminées par des PCB à des concentrations allant jusqu'à 10 000 mg/kg. Certains fournisseurs ont affirmé que ce procédé permettait de traiter des condensateurs ou des transformateurs entiers (PNUE, 2004a). On affirme également que la réduction par un métal alcalin est applicable au chlordane et au HCB sous forme de déchets de pesticides (ministère japonais de l'Environnement, 2004).

160. *Traitement préalable* : un traitement *ex-situ* des PCB peut être effectué à la suite d'une extraction des PCB au solvant. Le traitement de condensateurs ou de transformateurs entiers pourrait être effectué après réduction de la taille de ces équipements par cisailage. Le traitement préalable devrait comporter une déshydratation par séparation de phase, évaporation ou autre méthode afin d'éviter les réactions explosives avec le sodium métallique. Les équipements devraient être lavés à l'aide de solvants organiques. De même, les POP qui se présentent sous une forme solide ou adsorbée devraient être dissous à la concentration requise ou extraits de leurs matrices (Piersol, 1989 et PNUE, 2004a).

161. *Émissions et résidus* : les gaz émis sont notamment de l'azote et de l'hydrogène. Les émissions de substances organiques devraient être relativement mineures (Piersol, 1989). Il a cependant été noté que des PCDD et des PCDF peuvent se former à partir des chlorophénols dans des conditions alcalines à des températures aussi basses que 150 °C (Weber, 2004). Les résidus produits au cours du procédé comprennent du chlorure de sodium, de l'hydroxyde de sodium, des polyphényles et de l'eau. Dans certaines variantes, il se forme également un polymère solidifié (PNUE, 2000).

162. *Maîtrise des rejets et post-traitement* : après la réaction, les sous-produits obtenus peuvent être séparés de l'huile par une filtration associée à une centrifugation. L'huile décontaminée peut être réutilisée, le chlorure de sodium peut être soit réutilisé, soit mis en décharge et le polymère solidifié peut être mis en décharge (PNUE, 2000), sans aucun post-traitement ou peu de post-traitement nécessaire. Selon la technique utilisée, la filtration associée à la centrifugation peut inclure un traitement des effluents gazeux et la neutralisation ou la conservation des résidus. Il pourrait être nécessaire de récupérer l'excès de sodium, s'il n'est pas neutralisé. Les produits liquides, s'ils ne sont pas réutilisés, et les produits polymères solidifiés devraient généralement être incinérés et les sels inorganiques être éliminés. De faibles quantités de composés organiques volatiles présentes dans les émissions peuvent être piégées au moyen de charbon actif (ONUDI, 2007).

163. *Besoins énergétiques* : les besoins énergétiques immédiats devraient être relativement faibles vu que le procédé de réduction par le sodium métallique est mis en œuvre à basse température.

164. *Matières requises* : ce procédé exige du sodium (PNUE, 2004a).

165. *Mobilité* : ce procédé est disponible dans des configurations mobiles ou fixes (PNUE, 2000).

166. *Santé et sécurité* : le sodium métallique dispersé réagit violemment et de façon explosive avec l'eau et présente donc un risque majeur pour les opérateurs. Il peut également réagir avec diverses autres substances en donnant de l'hydrogène, gaz inflammable qui est explosif en mélange avec l'air. Le procédé doit donc être conçu et mis en œuvre avec le plus grand soin afin d'exclure toute présence d'eau (et de certaines autres substances comme les alcools) dans les déchets et d'éviter que l'eau (ou certaines autres substances) n'entre en contact avec le sodium métallique.

167. *Capacité* : les installations mobiles peuvent traiter 15 000 litres d'huile de transformateur contaminée aux PCB par jour (PNUE, 2000).

168. *Autres questions pratiques* : la réduction par le sodium, lorsqu'elle est utilisée pour le traitement in situ d'huiles de transformateurs contaminées par des PCB, peut ne pas détruire tous les PCB contenus dans les éléments poreux à l'intérieur du transformateur. Certains auteurs ont noté que l'on manque d'information sur les caractéristiques des résidus (PNUE, 2000).

169. *État de commercialisation* : La réduction par un métal alcalin est utilisée industriellement depuis 25 ans environ et l'est encore aujourd'hui. Au Japon, trois installations commerciales ont été

implantées en 2004, 2005 et 2009 et sont actuellement opérationnelles (JESCO, 2009a ; JESCO, 2009b ; JESCO, 2013).

b) Incinération avancée des déchets solides

170. *Description du procédé* : il existe de nombreux types différents d'incinérateurs de déchets municipaux et toutes les technologies ou installations d'incinération des déchets municipaux ne permettent pas de détruire les POP présents dans les déchets. Les incinérateurs avancés de déchets solides sont conçus pour traiter en toute sécurité les contaminants présents dans les déchets solides municipaux (DSM) et déchets industriels et commerciaux de type similaire, généralement dans des fours à grille fonctionnant à des températures élevées et incorporant des méthodes de pointe en matière de contrôle de la pollution. Les procédés d'incinération avancée des déchets solides exigent le maintien d'une température minimum de 850° C dans la ou les chambres de combustion et un temps de séjour en phase gazeuse d'au moins deux secondes. Il existe également des installations d'incinération spéciales pour les déchets de bois qui sont en mesure d'incinérer des déchets de bois contenant du PCP ou contaminés par cette substance, dans des conditions semblables à celles décrites plus ci-dessus (Commission européenne, 2011). Les conditions et les exigences de fonctionnement relatives aux procédés décrits ci-dessus devraient être strictes et permettre d'atteindre les niveaux de destruction et de transformation irréversible mentionnés dans la sous-section IV.G.2. Certains pays ont intégré ces exigences dans leur législation nationale³⁵.

171. Une température supérieure à 850° C est nécessaire pour détruire totalement le HBCD contenu dans les déchets. Lors d'un essai de traitement en grandeur réelle de déchets de mousse de polystyrène (expansé et extrudé) contenant du HBCD dans l'incinérateur de déchets solides municipaux de Würzburg (Allemagne), où les déchets à traiter contenaient 1 à 2 pour cent en poids de ces déchets de mousses renfermant 6 000 à 21 000 mg/kg de HBCD, la température de combustion nécessaire a été de 900 à 1 000°C (Mark *et al.*, 2015). Lors d'un essai de traitement en grandeur réelle de déchets électriques et électroniques dans l'incinérateur de déchets solides municipaux de Tamara (Allemagne), où les déchets à traiter contenaient 2,5 à 3,5 % de brome, y compris des BDE constituant des POP, la température était de 1 000°C (Vehlow, 2002). Les résultats de ces essais ont été confirmés par une étude à grande échelle d'installations en Norvège, où l'apport total en retardateurs de flamme bromés était inférieur à 500 g/h (Borgnes & Rikheim, 2005). Dans le cas de l'incinération ou de la co-incinération de déchets dangereux dont la teneur en substances organiques halogénées exprimées en chlore est supérieure à 1 pour cent, une température d'au moins 1 100°C est nécessaire.

172. Des gaz de combustion renfermant la majeure partie de l'énergie combustible disponible sous forme de chaleur sont libérés au cours de l'incinération. Les substances organiques contenues dans les déchets brûlent dès qu'elles atteignent la température d'ignition. Il est à noter qu'il peut s'avérer nécessaire d'ajouter d'autres combustibles afin d'ajuster la température durant l'incinération, ainsi que lors de l'allumage et de l'arrêt des fours.

173. Il convient de noter que les déchets résiduels contiennent en règle générale de petites quantités de métaux lourds, de soufre et de chlore et peuvent contenir de petites quantités de retardateurs de flamme dans le cas des déchets plastiques ou textiles. On trouve ces substances dans pratiquement toutes les fractions de déchets résiduels et dans divers composés chimiques, ce qui explique que les exigences des systèmes techniques visant à garantir la sécurité du traitement des déchets résiduels sont très complexes³⁶.

174. Les directives relatives aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales en liaison avec l'article 5 et de l'annexe C élaborées par la Convention de Stockholm devraient être utilisées et appliquées à cette technologie (PNUE, 2007).

175. *Rendement* : dans les conditions de combustion appropriées, les composés organiques sont détruits au cours de l'incinération³⁷. Les rapports du Groupe d'évaluation technologique et économique (TEAP) du Protocole de Montréal sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone, et notamment le rapport de 2002 du Groupe de travail du TEAP sur les techniques de destruction, ont montré que le

³⁵ Voir le chapitre 4 de la directive 2010/75UE de l'Union européenne relative aux émissions industrielles. Cette directive, qui succède à la directive 2008/1/CE (prévention et contrôle intégrés de la pollution), vise à réduire au minimum la pollution causée par diverses sources industrielles sur l'ensemble de l'Union européenne. Les exploitants d'installations industrielles exerçant des activités couvertes par l'annexe I à la directive sont tenus d'obtenir un permis intégré auprès des autorités des pays membres de l'UE.

³⁶ Voir Ministère fédéral autrichien de l'Agriculture, des Forêts, de l'Environnement et de l'Eau, 2010.

³⁷ Voir BiProBiPRO GmbH, 2005.

rendement de destruction était élevé lors de l'incinération avancée des déchets solides pour les substances halogénées telles que les CFC et les HCFC contenus dans les mousses de polystyrène.

176. L'essai de traitement en grandeur réelle effectué dans l'incinérateur de déchets solides municipaux de Würzburg a démontré que l'incinération avancée permettait de détruire le HBCD avec un rendement de destruction de 99,999 pour cent pour les mousses de polystyrène expansé et extrudé³⁸. Il est démontré qu'une combustion contrôlée permet d'obtenir un rendement de destruction supérieur à 99,9 pour cent pour le bois traité contenant du PCP³⁹.

177. *Types de déchets* : les incinérateurs avancés de déchets solides sont conçus pour l'incinération des DSM, y compris des déchets résiduels, mais peuvent également traiter certains déchets industriels et commerciaux⁴⁰. Un essai en grandeur réelle a montré que l'incinération avancée convenait pour l'incinération des déchets de mousses de polystyrène (expansé et extrudé) contenant du HBCD⁴¹. Il a été démontré que l'incinération avancée de déchets solides permettait de traiter des déchets contenant des BDE qui constituent des POP (Borgnes & Rikheim, 2005 ; Vehlow, 2002 ; OCDE, 1998 ; Commission européenne, 2011). Les déchets de bois contenant du PCP ou contaminés par cette substance peuvent être incinérés dans les installations d'incinération spéciales pour les déchets de bois (Commission européenne, 2011)

178. *Traitement préalable* : Les déchets devraient être mélangés dans une chambre afin de maintenir leur valeur calorifique à un niveau constant. Une réduction du volume (par écrasage ou cisailage) est nécessaire pour les déchets volumineux.

179. *Émissions et résidus* : parmi les émissions figurent du dioxyde de carbone, de la vapeur d'eau, du chlorure d'hydrogène, du fluorure d'hydrogène, du dioxyde de soufre et d'autres oxydes de soufre, des matières particulaires, des oxydes d'azote, du carbone organique total, des PCDD/PCDF, des métaux lourds et du monoxyde de carbone⁴², et pourraient aussi figurer des PBDD/PBDF (PNUE, 2007). Les autres émissions comprennent du bromure d'hydrogène et des PXDD/PXDF⁴³. Les incinérateurs qui appliquent les meilleures techniques disponibles sont, entre autres, conçus pour fonctionner à des températures élevées, afin de réduire au minimum la reformation de PCDD et PCDF et d'éliminer les PCDD et PCDF (en utilisant par exemple des filtres à charbon actif), ont donné lieu à de très faibles émissions dans l'air et dans l'eau de PCDD et PCDF⁴⁴.

180. Dans les résidus, on trouve des PCDD et PCDF principalement dans les cendres volantes et les résidus d'épuration des gaz de combustion à des concentrations de l'ordre de 0,0008 à 35 ng TEQ/g, alors que les mâchefers (qui représentent le plus grand flux de masse de résidus provenant de l'incinération des déchets) et les boues d'épuration ne contiennent qu'une quantité comparativement petite de PCDD et PCDF⁴⁵. D'après l'étude d'installations effectuée en Norvège, le rejet dans l'air de polybromodiphényléthers était de 3,5 ng/Nm³ (Borgnes & Rikheim, 2005).

181. *Maîtrise des rejets et post-traitement* : les gaz issus du procédé doivent habituellement être traités afin d'en éliminer les chlorure et fluorure d'hydrogène, les oxydes de soufre et d'azote, les métaux lourds et les matières particulaires, ainsi que de prévenir la formation de POP et d'éliminer ceux qui ont été produits de manière non intentionnelle. Pour cela, on peut associer différents équipements d'épuration, notamment des précipitateurs électrostatiques, des sacs filtrants, des laveurs, une réduction sélective catalytique ou non catalytique et une adsorption sur charbon. Selon leurs caractéristiques, les cendres volantes et les mâchefers peuvent nécessiter une mise en décharge dans un endroit spécialement aménagé ou un stockage permanent dans des mines ou formations souterraines, ou être utilisées pour le remblayage dans des mines de sel⁴⁶.

182. *Besoins énergétiques* : la quantité de combustible nécessaire dépend de la composition des déchets à traiter et des technologies qui seront utilisées pour le traitement des gaz de combustion.

³⁸ Voir Mark *et al.*, 2015.

³⁹ Commission européenne, 2011

⁴⁰ Voir Commission européenne, 2006.

⁴¹ Voir Mark *et al.*, 2015.

⁴² Voir Commission européenne, 2006.

⁴³ Voir Mark *et al.*, 2015.

⁴⁴ Voir PNUE, 2001.

⁴⁵ Voir BiPRO GmbH, 2005.

⁴⁶ Voir Commission européenne, 2006.

183. *Matières requises* : les matières nécessaires peuvent inclure la chaux, le bicarbonate de soude, le charbon actif et d'autres produits adaptés pour éliminer les gaz acides et autres polluants.
184. *Mobilité* : les installations d'incinération avancée des déchets solides sont des unités fixes.
185. *Santé et sécurité* : afin de veiller à ce que les mesures de santé et sécurité appropriées soient prises, les installations d'incinération avancée de déchets solides devraient être conçues et exploitées conformément aux chapitres pertinents de la directive 2010/75/UE de l'Union européenne relative aux émissions industrielles (contrôle et prévention intégrés de la pollution) et au Document de référence de la Commission européenne sur les meilleures techniques disponibles (BREF) applicables à l'incinération des déchets (voir la section 2.8.5 intitulée « Aperçu des mesures et dispositifs de sécurité ») (Commission européenne, 2006).
186. *Capacité* : chaque installation d'incinération avancée des déchets solides peut traiter de 30 000 à plus de 1 000 000 de tonnes de déchets par an. En raison du haut volume de mousses de polystyrène contenant du HBCD (qui font un volume important et ont une densité comprise entre 15 et 40 kilogrammes/mètre cube), une utilisation de 1 à 2 pour cent en poids de ces mousses, ce qui correspond à environ 15 à 30 pour cent en volume, est recommandée (Mark *et al.*, 2015).
187. *Autres questions pratiques* : aucun autre point n'est actuellement à signaler.
188. *État de commercialisation* : on dispose d'une longue expérience de l'incinération des déchets⁴⁷. Quelques installations d'incinération avancée des déchets solides sont actuellement en service en Europe.

c) Décomposition catalysée par une base⁴⁸

189. *Description du procédé* : ce procédé consiste à traiter les déchets en présence d'un mélange de réactifs constitué d'une huile donneuse d'hydrogène, d'un hydroxyde de métal alcalin et d'un catalyseur breveté. Lorsque le mélange est chauffé à plus de 300 °C, il produit de l'hydrogène atomique extrêmement réactif. L'hydrogène atomique réagit avec les déchets en éliminant les constituants qui confèrent leur toxicité aux composés.
190. *Rendement* : des rendements de destruction de 99,99 à 99,9999 % ont été rapportés pour le DDT, le HCB, les PCB, les PCDD et les PCDF (PNUE, 2000), le HCH et le PCP (PNUE, 2004c). Des rendements de destruction supérieurs à 99,999 % et des rendements d'élimination par destruction de plus de 99,9999 % ont également été rapportés pour le chlordanes et le HCH (Ministère japonais de l'environnement, 2004). Il a également été indiqué que le procédé permettait de ramener la teneur en composés organiques chlorés à moins de 2 mg/kg (PNUE, 2001b).
191. *Types de déchets* : le procédé devrait également pouvoir s'appliquer à des POP autres que ceux mentionnés dans le paragraphe précédent (à savoir DDT, PCB, PCDD et PCDF) (PNUE, 2004a et Vijgen, 2002). Il devrait être à même de traiter des déchets à forte concentration de POP, son applicabilité étant démontrée dans le cas de déchets contenant plus de 30 % de PCB en poids (Vijgen, 2002). Bien que l'on ait signalé que la formation de sel au sein du mélange traité risquait de limiter la concentration de produits halogénés pouvant être traités par ce procédé, des rapports plus récents indiquent que ce problème a été résolu (voir le paragraphe 202 ci-après).
192. *Traitement préalable* : les sols peuvent être traités directement. Néanmoins, divers types de traitement préalable des sols peuvent être nécessaires :
- a) Il peut être nécessaire de retirer les plus grosses particules par tamisage et de les broyer pour en réduire la taille ; ou
 - b) Il peut être nécessaire d'ajuster le pH et la teneur en humidité.
193. La *désorption thermique* a également été utilisée en association avec la décomposition catalysée par une base pour éliminer les POP de sols avant traitement. Dans ce cas, le sol est préalablement mélangé à du bicarbonate de sodium avant d'être introduit dans l'unité de désorption thermique. Il faut alors évaporer l'eau des milieux aqueux (y compris les boues humides) avant le traitement. Les condensateurs peuvent être traités après réduction de leur taille par cisailage. Si des solvants volatils sont présents, comme c'est le cas pour les pesticides, ils devraient être éliminés par distillation avant le traitement (CMPS&F – Environment Australia, 1997).

⁴⁷ Voir Commission européenne, 2006.

⁴⁸ On trouvera de plus amples informations dans CMPS&F – Environment Australia, 1997 ; Costner, Luscombe et Simpson, 1998 ; Agence danoise de protection de l'environnement (EPA), 2004 ; Rahuman, Pistone, Trifirò et Miertu, 2000 ; PNUE, 1998 ; PNUE, 2001 ; PNUE, 2004a ; et Vijgen, 2002.

194. *Émissions et résidus* : les émissions atmosphériques devraient être relativement faibles. Le risque de formation de PCDD et PCDF durant le processus de décomposition catalysée par une base est relativement faible. Il a cependant été noté que des PCDD peuvent se former à partir des chlorophénols dans des conditions alcalines à des températures aussi basses que 150 °C (Weber, 2004). Les autres résidus formés lors de la réaction de décomposition sont notamment des boues contenant principalement de l'eau, du sel, de l'huile donneuse d'hydrogène non utilisée et du carbone résiduel. Le fournisseur affirme que le résidu de carbone est inerte et non toxique. Pour plus de précisions, se référer à la documentation produite par la société BCD Group, Inc.

195. *Maîtrise des rejets et post-traitement* : selon le type d'huile utilisée comme donneuse d'hydrogène, les boues résiduelles peuvent être traitées de différentes façons. Si du fioul lourd n°6 a été utilisé, la boue peut être éliminée comme combustible dans un four de cimenterie. Si l'on utilise des huiles plus raffinées, elles peuvent être retirées des boues par gravité ou séparation centrifuge. On peut ensuite réutiliser les huiles et soumettre les boues résiduelles à un traitement plus poussé en vue de les utiliser comme agent neutralisant ou de les mettre en décharge (PNUE, 2004a). De plus, les installations de décomposition catalysée par une base sont équipées de pièges à charbon actif destinés à réduire au minimum les rejets de composés organiques volatils dans les émissions gazeuses.

196. *Besoins énergétiques* : les besoins énergétiques devraient être assez faibles, compte tenu des températures relativement basses auxquelles le procédé est mis en œuvre.

197. *Matières requises* : les produits suivants sont nécessaires :

- a) Huile donneuse d'hydrogène ;
- b) Carbonate, bicarbonate ou hydroxyde de métal alcalin ou alcalino-terreux, comme le bicarbonate de sodium. La quantité requise dépend de la concentration du contaminant halogéné dans le milieu (CMPS&F – Environment Australia, 1997). Elle varie de 1 % à 20 % environ en poids du milieu contaminé ;
- c) Catalyseur breveté en quantité égale à 1 % en volume de l'huile donneuse d'hydrogène.

198. *L'équipement* nécessaire pour ce procédé est considéré comme facile à obtenir (Rahuman *et al.*, 2000).

199. *Mobilité* : des installations modulaires, transportables ou fixes, ont été réalisées.

200. *Santé et sécurité* : d'une façon générale, les risques pour la santé et la sécurité associés à la mise en œuvre de cette technologie sont considérés comme faibles, encore qu'une installation de décomposition catalysée par une base située à Melbourne (Australie) ait été rendue inexploitable à la suite d'un incendie en 1995. On pense que l'incendie a été provoqué par le traitement d'une cuve de stockage sans mise sous azote. Certains traitement préalables associés au procédé comme le traitement préalable alcalin des condensateurs et l'extraction au solvant présentent des risques non négligeables d'incendie et d'explosion, mais ceux-ci peuvent être réduits au minimum par des mesures de précaution appropriées (CMPS&F – Environment Australia, 1997).

201. *Capacité* : le procédé peut permettre de traiter jusqu'à 2 500 gallons de déchets par lot et peut traiter 2 à 4 lots par jour (Vijgen, 2002).

202. *Autres questions pratiques* : le procédé comportant une extraction du chlore des déchets, le traitement peut se traduire par une concentration accrue d'espèces moins chlorées. Cela peut constituer un problème lors du traitement des PCDD et des PCDF, les congénères moins chlorés étant plus toxiques que les congénères plus chlorés. Il est donc important que ce procédé fasse l'objet d'une surveillance appropriée afin de s'assurer que la réaction s'effectue jusqu'au bout. Dans le passé, il a été signalé que le procédé n'était pas en mesure de traiter des déchets à forte concentration en raison de l'accumulation de sel (CMPS&F – Environment Australia, 1997). Dernièrement, toutefois, il a été indiqué que ce problème était résolu (Vijgen, 2002 et PNUE, 2004a).

203. *État de commercialisation* : la décomposition catalysée par une base a été mise en œuvre dans deux établissements industriels d'Australie, dont un est encore en service. Un autre système fait également l'objet d'une exploitation industrielle au Mexique depuis 1999. De plus, des systèmes de décomposition catalysée par une base ont été utilisés pour des projets en Australie, en Espagne, aux États-Unis et en République tchèque.

d) Hydrodéchloration catalytique

204. *Description du procédé* : l'hydrodéchloration catalytique consiste à traiter les déchets à l'aide d'hydrogène gazeux et d'un catalyseur au palladium sur du carbone (Pd/C) dispersé dans l'huile de paraffine. L'hydrogène réagit avec le chlore dans les déchets halogénés pour donner du chlorure

d'hydrogène (HCl) et des déchets non halogénés. Dans le cas des PCB, le biphényle constitue le principal produit. Le procédé est mis en œuvre à la pression atmosphérique et à des températures comprises entre 180 °C et 260 °C (Sakai, Peter et Oono 2001 ; Noma, Sakai et Oono, 2002 ; et Noma ; Sakai et Oono, 2003a et 2003b).

205. *Rendement* : des rendements de destruction de 99,98 à 99,9999 % ont été rapportés pour les PCB. Il a également été indiqué qu'il était possible de ramener la teneur en PCB à moins de 0,5 mg/kg.

206. *Types de déchets* : le procédé a été démontré pour l'élimination de PCB de condensateurs usagés. Des PCDD/PCDF contenus dans des PCB sous forme d'impuretés ont également été déchlorés. Un fournisseur a affirmé en outre que le procédé permet de traiter des déchets chlorés à l'état liquide ou dissous dans des solvants.

207. *Traitement préalable* : les PCB et les PCDD/PCDF doivent être extraits à l'aide de solvants ou isolés par vaporisation. Les substances à bas point d'ébullition comme l'eau et les alcools devraient être éliminées par distillation préalablement au traitement.

208. *Émissions et résidus* : la réaction de déchloration ne donne pas lieu à des émissions vu qu'elle se déroule dans un système fermé à circulation d'hydrogène. Le HCl n'est pas déchargé de la réaction car il est recueilli avec l'eau sous forme d'acide chlorhydrique à l'intérieur du système. Le biphényle isolé après la réaction par distillation ne contient pas de matières toxiques.

209. *Maîtrise des rejets et post-traitement* : le principal produit, à savoir le biphényle, est séparé du solvant de réaction par distillation après la réaction, et le catalyseur et le solvant de réaction sont réutilisés dans la réaction suivante.

210. *Besoins énergétiques* : les besoins énergétiques devraient être relativement faibles car le procédé est mis en œuvre à basse température.

211. *Matières requises* : le procédé d'hydrodéchloration catalytique exige autant de molécules d'hydrogène qu'il y a de molécules de chlore dans les PCB, ainsi que 0,5 % de catalyseur en poids.

212. *Mobilité* : le procédé est disponible dans des configurations fixes et mobiles selon le volume de PCB à traiter.

213. *Santé et sécurité* : l'emploi d'hydrogène oblige à prendre des mesures de contrôle et de protection appropriées afin d'éviter la formation de mélanges air-hydrogène explosifs.

214. *Capacité* : au Japon, une installation capable de traiter quotidiennement 2 t de PCB par jour par hydrodéchloration catalytique a été construite et est en service. Des installations sont également en service à Canton (États-Unis) et à Young (Australie). On ne dispose pas d'informations sur leurs capacités de traitement.

215. *Autres questions pratiques* : il existe de nombreux rapports sur l'hydrodéchloration catalytique des PCB. D'une manière générale, les catalyseurs Pd/C permettent d'obtenir les taux de dégradation les plus élevés comparés aux autres catalyseurs métalliques supportés. Les températures de réaction peuvent être portées à 260 °C quand on utilise de l'huile de paraffine comme solvant de réaction.

216. *État de commercialisation* : une installation industrielle a été construite sur le site de la Japan Environment Storage & Safety Corporation (JESCO) à Osaka en 2006, où les PCB extraits des transformateurs et des condensateurs sont traités en ayant recours au procédé d'hydrodéchloration catalytique (JESCO, 2009c).

e) **Co-incinération en four de cimenterie⁴⁹**

217. *Description du procédé* : les fours de cimenterie sont en règle générale constitués d'un cylindre de 50 à 150 mètres de long, légèrement incliné par rapport à l'horizontale (angle de 3 à 4 %), effectuant de 1 à 4 révolutions environ à la minute. Les matières premières (calcaire, silice, alumine et oxydes de fer, par exemple) sont introduites à l'extrémité supérieure, dite « froide », du four rotatif. L'inclinaison et la rotation les font progresser vers la partie basse, dite « chaude », du four. Le four est chauffé dans sa partie basse, où les températures des matières atteignent de 1 400 à 1 500 °C. Lors de leur passage dans le four, les matières subissent une dessiccation et une cuisson pour se transformer en clinker.

⁴⁹ On trouvera de plus amples informations dans CMPS&F – Environment Australia, 1997 ; Costner *et al.*, 1998 ; Agence danoise de protection de l'environnement, 2004 ; Karstensen, 2001 ; Rahuman *et al.*, 2000 ; Stobiecki *et al.*, 2001 ; et PNUE, 1998. Par ailleurs, des informations sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales en ce qui concerne l'incinération des déchets dangereux en fours de cimenterie sont disponibles auprès de la Commission européenne.

218. Les fours de cimenterie utilisés pour traiter des déchets peuvent nécessiter des modifications⁵⁰. Des points d'injection adéquats devraient être choisis en fonction des caractéristiques du déchet, notamment de ses propriétés physiques, chimiques et toxicologiques. Par exemple, les composés toxiques combustibles que l'on trouve dans certains déchets dangereux, tels que les halogènes organiques, doivent être complètement détruits à une température et pendant un temps de séjour convenables. Dans les fours de préchauffage/précalcination, l'injection de déchets dangereux devrait généralement se faire par les brûleurs principaux ou secondaires. Étant donné que les halogénures (p. ex. chlorures, bromures et fluorures) influent sur la qualité du ciment, leur présence doit être limitée. Il peut y avoir du chlore dans toutes les matières premières utilisées dans la fabrication du ciment, par conséquent les teneurs totales en halogène (chlore, brome et fluor) des déchets dangereux peuvent revêtir une importance critique (Commission européenne, 2013). Toutefois, les fours de cimenterie sont en mesure de traiter des déchets dangereux fortement chlorés si ceux-ci sont suffisamment dilués.

219. L'introduction de combustibles peut se faire aux points suivants :

- a) Brûleur principal en sortie du four rotatif ;
- b) Trémie d'alimentation dans la chambre de transition à l'entrée du four rotatif (pour le combustible solide) ;
- c) Brûleurs secondaires dans le conduit ascendant ;
- d) Brûleurs du précalcinateur ;
- e) Trémie d'alimentation du précalcinateur/préchauffeur (pour le combustible solide) ;
- f) Sas au milieu du four pour les fours longs en voie humide et sèche (pour le combustible solide) (PNUE, 2004b).

220. Les directives sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales élaborées par la Convention de Stockholm en liaison avec l'article 5 et de l'annexe C concernant l'incinération des déchets dangereux dans les fours de cimenterie doivent être utilisées et appliquées à cette technologie (PNUE, 2007).

221. *Rendement* : des rendements d'élimination par destruction supérieurs à 99,99998 % ont été rapportés pour les PCB dans plusieurs pays. Une installation devrait démontrer sa capacité à détruire (par combustion) ou éliminer (par fixation dans les conduits ou les dispositifs de contrôle de la pollution de l'air) au moins 99,9999 % des POP visés⁵¹. Les valeurs rapportées pour les rendements de destruction et les rendements d'élimination par destruction pour le DDT sont comprises entre 99,9335-99,9998 pour cent et 99,9984-99,9999 pour cent respectivement (Yan *et al.*, 2014) et pour les rendements d'élimination par destruction les valeurs sont supérieures à 99,9999 pour cent (Li *et al.*, 2014). Étant donné les très hautes températures et les longs temps de séjour pratiqués dans les installations ultramodernes de co-incinération en four de cimenterie, le PCN, le PCP et le HCBP devraient également être détruits (Agence fédérale allemande pour la protection de l'environnement, 2015). Les contraintes d'exploitation du procédé pourraient devenir importantes lorsque certains composés, par exemple des éléments volatils circulants tels que le chlore, le soufre ou des alcalins, sont présents en quantités excessives (Karstensen, 2008).

222. *Types de déchets* : pratiquement tous les composés organiques peuvent être détruits à la température minimale de 1 400°C d'un four de cimenterie fonctionnant correctement (PNUE, 2002a). Ces fours sont capables de traiter des déchets aussi bien liquides que solides⁵².

223. *Traitement préalable* : le traitement préalable peut comporter les opérations suivantes :

- a) Désorption thermique préalable des déchets solides ;
- b) Homogénéisation des déchets solides et liquides par séchage, déchiquetage, combinaison, mélange et broyage ;
- c) Réduction du volume ; et
- d) Combinaison.

⁵⁰ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997 et PNUE, 2004b.

⁵¹ Karstensen *et al.*, 2009.

⁵² Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997 ; Rahuman *et al.*, 2000 ; PNUE, 2004b ; et Karstensen *et al.*, 2006.

224. *Émissions et résidus* : la co-incinération de déchets dangereux dans les fours de cimenterie est inscrite comme une catégorie de source industrielle qui a le potentiel de conduire à la formation et au rejet relativement importants de POP produits non intentionnellement qui sont inscrits à l'annexe C à la Convention de Stockholm. Les émissions peuvent comprendre notamment des oxydes d'azote, du monoxyde de carbone, du dioxyde et d'autres oxydes de soufre, des métaux et leurs composés, du chlorure d'hydrogène, du fluorure d'hydrogène, de l'ammoniac, des PCDD, des PCDF, du benzène, du toluène, du xylène, des hydrocarbures aromatiques polycycliques, des chlorobenzènes et des PCB (PNUE, 2004b) et du PCN (Liu *et al.*, 2016). Il convient de noter que les fours de cimenterie permettent de se conformer à des niveaux d'émission atmosphérique de PCDD et de PCDF inférieurs à 0,1 ng TEQ/Nm³, bien que les déchets à forte teneur en chlore doivent être incinérés avec d'autres déchets pour éviter des effets adverses sur les niveaux d'émission, notamment dans des fours en voie humide et (longs) en voie sèche. Les résidus comprennent les poussières du four qui sont captées par les systèmes antipollution atmosphérique.

225. *Maîtrise des rejets et post-traitement* : il faut traiter les gaz de procédé pour en éliminer non seulement les poussières, les composés organiques, le dioxyde de soufre et l'oxyde d'azote ; il faut également les chauffer afin de réduire au minimum la formation de PCDD et de PCDF. Le traitement fait appel à des préchauffeurs, à des précipitateurs électrostatiques, à des sacs filtrants et à des filtres à charbon actif⁵³. Les poussières provenant des fours de cimenterie devraient, dans toute la mesure possible, être réintroduites dans les fours, le résidu final pouvant nécessiter une élimination dans une décharge spécialement aménagée ou un stockage permanent dans une mine ou une formation souterraine.

226. *Besoins énergétiques* : Pour les nouvelles installations et celles ayant subi une importante modernisation qui utilisent des fours par procédé sec avec plusieurs étages de préchauffage à cyclone et un précalcinateur, la consommation d'énergie associée aux meilleures techniques disponibles est de 2 900 à 3 200 MJ/tonne de clinker dans des conditions d'exploitation normales (excluant, p. ex. les démarrages et les arrêts) et optimisées (qui ne s'appliquent pas aux installations produisant un ciment spécial ou du clinker de ciment blanc qui exigent des températures de traitement beaucoup plus élevées en raison des spécifications du produit). La capacité de production influe sur la demande en énergie, les plus grandes capacités permettant des économies d'énergie et les plus petites exigeant davantage d'énergie. La consommation énergétique dépend également du nombre d'étages de préchauffage à cyclone, un plus grand nombre d'étages de préchauffage à cyclone entraînant une plus faible consommation d'énergie pour le fonctionnement du four. Le nombre approprié d'étages de préchauffage à cyclone est déterminé principalement par la teneur en humidité des matières premières (Commission européenne, 2013).

227. *Matières requises* : la fabrication de ciment requiert d'importantes quantités de matières premières (calcaire, silice, alumine, oxydes de fer et gypse, notamment).

228. *Mobilité* : les fours de cimenterie n'existent que dans des configurations fixes.

229. *Santé et sécurité* : le traitement des déchets dans des fours de cimenterie peut être considéré comme relativement sûr à condition que les fours soient bien conçus et correctement mis en œuvre.

230. *Capacité* : les fours dans lesquels des déchets sont co-incinérés en tant que combustibles ne doivent pas normalement tirer plus de 40 pour cent de leurs besoins énergétiques de la combustion de déchets dangereux. Il a cependant été noté que les fours à débit élevé offraient la possibilité de traiter d'importantes quantités de déchets (CMPS&F – Environment Australia, 1997).

231. *État de commercialisation* : des fours à ciment ont été utilisés, et le sont encore, aux États-Unis, dans certains pays européens et dans un certain nombre de pays en développement pour le traitement de déchets contaminés par des POP. (Conseil mondial des entreprises pour le développement durable, 2004, document intitulé « Formation and Release of POPs in the Cement Industry » et Karstensen, 2006).

232. *Informations supplémentaires* : pour de plus amples informations, voir les Directives techniques du PNUE sur le co-traitement écologiquement rationnel des déchets dangereux dans les fours à ciment (PNUE, 2011) et la Décision d'exécution 2013/163/UE de la Commission établissant les conclusions sur les meilleures techniques disponibles (MTD) pour la production de ciment, de chaux et d'oxyde de magnésium au titre de la directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles (Commission européenne, 2013b).

⁵³ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997 ; Karstensen *et al.*, 2006 ; et PNUE, 2004b.

f) Réduction chimique en phase gazeuse⁵⁴

233. *Description du procédé* : la réduction chimique en phase gazeuse consiste à assurer une réduction thermochimique des composés organiques. À des températures supérieures à 850 °C et à basse pression, l'hydrogène réagit avec les composés organiques chlorés pour former principalement du méthane, du chlorure d'hydrogène (si les déchets sont chlorés) et de petites quantités d'hydrocarbures de faible poids moléculaire (benzène et éthylène). L'acide hydrochlorique est neutralisé par l'addition de soude lors du refroidissement initial du gaz de procédé ou peut être extrait sous forme d'acide pour réutilisation. La technologie de réduction chimique en phase gazeuse peut se décomposer en trois unités opérationnelles fondamentales : un système de traitement préalable (où les contaminants sont transformés en une forme adaptée en vue de leur destruction dans le réacteur), un réacteur (qui réduit les contaminants, à ce stade en phase gazeuse, en utilisant l'hydrogène et la vapeur) et un système d'épuration et de compression des gaz.

234. *Rendement* : des rendements de destruction de 99,9999 % ont été rapportés pour le DDT, l'HCB, les PCB, les PCDD et les PCDF⁵⁵.

235. *Types de déchets* : ce procédé devrait permettre de traiter tous les déchets de POP⁵⁶, et notamment des liquides aqueux ou huileux, des sols, des sédiments, des boues, des transformateurs et des condensateurs⁵⁷.

236. *Traitement préalable* : Les contaminants doivent être en phase gazeuse pour que le réacteur de réduction chimique en phase gazeuse puisse les réduire. Les déchets liquides peuvent être préchauffés et injectés en continu directement dans le réacteur ; en revanche, les contaminants adsorbés sur des matières solides doivent d'abord en être séparés par volatilisation. Selon le type de déchets, l'une des trois unités de traitement préalable suivantes est actuellement utilisée pour débarrasser les déchets de leurs substances volatiles avant leur traitement dans un réacteur de réduction chimique en phase gazeuse :

a) Réacteurs de réduction thermique par lot, pour les solides en vrac, y compris ceux en fût ;

b) Réacteurs à lit toroïdal pour les sols et sédiments contaminés, également adapté aux liquides ;

c) Systèmes de préchauffage pour les déchets liquides⁵⁸.

237. En outre, d'autres traitements préalables sont nécessaires pour les grands condensateurs et les décombres. Les grands condensateurs doivent être percés et vidés, tandis que les décombres et le béton doivent être réduits à une taille inférieure à 1 m²⁵⁹.

238. *Émissions et résidus* : outre le chlorure d'hydrogène et le méthane, les émissions peuvent comprendre des hydrocarbures de faible poids moléculaire. Les résidus du procédé sont notamment des liqueurs et de l'eau usées. En outre, les déchets solides traités donnent lieu à des résidus solides⁶⁰. Le procédé étant mis en œuvre en atmosphère réductrice, la possibilité que des PCDD et PCDF se forment est considérée comme limitée⁶¹. Ce procédé ne produit pas de cendres.

239. *Maîtrise des rejets et post-traitement* : on épure les gaz sortant du réacteur pour les débarrasser de l'eau, de la chaleur, de l'acide et du dioxyde de carbone qu'ils contiennent⁶². Les résidus et matières

⁵⁴ On trouvera de plus amples informations dans CMPS&F – Environment Australia, 1997 ; Costner *et al.*, 1998 ; Agence danoise de protection de l'environnement, 2004 ; Kümmling *et al.*, 2001 ; Rahuman *et al.*, 2000 ; Ray, 2001 ; PNUE, 2001 ; PNUE, 2004a ; et Vijgen, 2002.

⁵⁵ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997 ; Kümmling *et al.*, 2001 ; Rahuman *et al.*, 2000 ; PNUE, 2004a ; et Vijgen, 2002.

⁵⁶ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997 ; PNUE, 2004a ; et Vijgen, 2002.

⁵⁷ *Ibid.*

⁵⁸ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997 ; Kümmling *et al.*, 2001 ; PNUE, 2001 ; PNUE, 2004a.

⁵⁹ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997.

⁶⁰ Voir PNUE, 2004a, et Vijgen, 2002.

⁶¹ Voir CMPS&F – Environment Australia ; 1997, et Rahuman *et al.*, 2000.

⁶² Voir Kümmling *et al.*, 2001 ; CMPS&F – Environment Australia, 1997 ; et Rahuman *et al.*, 2000.

particulaires du système d'épuration doivent être éliminés hors site⁶³. Les résidus solides produits par les déchets solides introduits dans le système devraient pouvoir être mis décharge⁶⁴.

240. *Besoins énergétiques* : Le méthane produit au cours de la réduction chimique en phase gazeuse peut fournir une grande partie du combustible nécessaire au processus⁶⁵. Des consommations d'électricité allant de 96 kWh par tonne de sol traité à environ 900 kWh par tonne de contaminants organiques purs traités ont été signalées⁶⁶.

241. *Matières requises* : un apport d'hydrogène est nécessaire, du moins en phase de démarrage. Il a été indiqué que le méthane produit au cours de la réduction chimique en phase gazeuse peut être utilisé pour produire de l'hydrogène en quantité suffisante pour la conduite ultérieure du processus⁶⁷. L'unité de production d'hydrogène a cependant connu des problèmes de fiabilité dans le passé⁶⁸. D'autres produits peuvent être nécessaires, comme de la soude pour l'épurateur d'acide⁶⁹.

242. *Mobilité*: le procédé est disponible en configurations fixes ou mobiles⁷⁰.

243. *Santé et sécurité* : l'utilisation d'hydrogène gazeux sous pression oblige à prendre des mesures de contrôle et de protection appropriées afin d'éviter la formation de mélanges air-hydrogène explosifs⁷¹. Jusqu'ici, l'expérience a montré que le procédé peut être mise en œuvre en toute sécurité⁷². Il est utilisé pour traiter les boues d'épuration en transformant les déchets en eau propre et en gaz méthane propre enrichi en hydrogène, tout en détruisant chimiquement tous les agents pathogènes et les produits pharmaceutiques et en récupérant le phosphore, sans émissions fugitives de méthane au cours de cette opération.

244. *Capacité* : la capacité de traitement du procédé dépend des capacités des trois unités de traitement préalable suivantes :

a) Les réacteurs de réduction thermique par lot ont une capacité maximale de 100 tonnes de produits solides par mois ou de 4 litres de liquides par minute. Deux réacteurs peuvent être utilisés en parallèle pour doubler la capacité ;

b) Les réacteurs à lit toroïdal ont une capacité maximale de 5 000 tonnes de sols et sédiments par mois, mais ces unités de traitement préalable sont encore en phase de développement ;

c) Les systèmes de préchauffage des déchets liquides ont une capacité de 3 litres par minute (PNUE, 2004a et Vijgen, 2002).

245. *Autres questions pratiques* : il a été constaté, lors des phases initiales de développement, que des contaminants comme le soufre et l'arsenic inhibaient le traitement, mais on ignore si ce problème persiste⁷³.

246. *État de commercialisation* : des installations de réduction chimique en phase gazeuse ont été exploitées à l'échelle industrielle au Canada et en Australie. L'installation australienne a fonctionné pendant plus de cinq ans jusqu'en 2000⁷⁴. Aux États-Unis, on projette de construire dans le comté de Fauquier (Virginie) une installation de réduction en phase gazeuse fonctionnant au gazole synthétique qui aura une capacité de traitement de 200 tonnes par jour.

⁶³ Voir Rahuman *et al.*, 2000, et Vijgen, 2002.

⁶⁴ Voir PNUE, 2004a.

⁶⁵ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997 ; Rahuman *et al.*, 2000 ; PNUE, 2001 ; PNUE, 2004a, et Vijgen, 2002.

⁶⁶ CMPS&F – Environment Australia, 1997.

⁶⁷ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997 ; Rahuman *et al.*, 2000 ; PNUE, 2004a, et Vijgen, 2002.

⁶⁸ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997.

⁶⁹ Voir PNUE, 2004a.

⁷⁰ Voir PNUE, 2001 ; PNUE, 2004a ; et Vijgen, 2002.

⁷¹ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997.

⁷² Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997, et PNUE, 2004a.

⁷³ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997.

⁷⁴ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997 ; Kümmling *et al.*, 2001 ; Ray, 2001 ; PNUE, 2004a et Vijgen, 2002.

g) **Incinération des déchets dangereux**⁷⁵

247. *Description du procédé* : l'incinération des déchets dangereux fait appel à une combustion à flamme contrôlée pour traiter les contaminants organiques, principalement dans des fours rotatifs. En règle générale, les procédés de traitement comportent un chauffage à une température supérieure à 850 °C ou, si la teneur en substances organiques halogénées des déchets exprimées en chlore dépasse 1 %, à une température supérieure à 1 100 °C, avec un temps de séjour de plus de deux secondes, dans des conditions assurant un mélange adéquat. Les incinérateurs de déchets dangereux spécialisés sont disponibles dans différentes configurations comprenant les fours rotatifs et les fours statiques (uniquement pour les déchets liquides peu contaminés). Des chaudières haute performance et des fours pour agrégats légers sont également utilisés pour la co-incinération de déchets dangereux.

248. Les directives sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales élaborées par la Convention de Stockholm en liaison avec l'article 5 et l'annexe C concernant les incinérateurs de déchets devraient être utilisées et appliquées à cette technologie (PNUE, 2007).

249. *Rendement* : des rendements d'élimination par destruction supérieurs à 99,999 % ont été signalés pour le traitement des PCB, PCDD et PCDF, du chlordane et du HCB⁷⁶. Des rendements de destruction de plus de 99,999 % et des rendements d'élimination par destruction supérieurs à 99,9999 % ont été rapportés pour l'aldrine, l'endrine, le HCH, le DDT et le SPFO (Ministère japonais de l'environnement, 2004 et 2013b). On a signalé pour le PCN des rendements de destruction et des rendements d'élimination par destruction de 99,9974 et 99,9995 respectivement (Yamamoto *et al.*, 2016). Une incinération de pointe parvient à des taux de destruction supérieurs à 99,9 pour cent pour le HCBd et le PCP et situés entre 99,32 et 99,96 pour les PCN (Agence fédérale allemande pour la protection de l'environnement, 2015).

250. *Types de déchets* : les incinérateurs de déchets dangereux peuvent traiter des déchets constitués de POP, en contenant ou contaminés par ces substances (PNUE, 2002a). Ils peuvent être conçus pour accepter les déchets quels que soient leur concentration ou leur état physique (sous forme de gaz, liquides, solides ou boues, par exemple)⁷⁷.

251. *Traitement préalable* : selon la configuration, le traitement préalable requis peut comprendre un mélange et une réduction de la taille des déchets⁷⁸.

252. Pour les déchets de mousses en polystyrène (expansé et extrudé) contenant du HBCD, on peut procéder par une série d'étapes pour séparer le HBCD du polystyrène et détruire par la suite le HBCD dans des incinérateurs de déchets dangereux. Parmi les procédés de traitement préalable appropriés figurent la réduction du volume, la réduction de la taille, la dissolution, la sédimentation et la distillation⁷⁹. Dans le cas des déchets de polystyrène extrudé contenant du HBCD et qui peuvent également contenir des substances appauvrissant la couche d'ozone réglementées par le Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone⁸⁰, des mesures devraient être prises pour éviter le rejet de telles substances dans l'environnement durant ces opérations de traitement préalable.

253. *Émissions et résidus* : les émissions comprennent notamment du monoxyde de carbone, du dioxyde de carbone, de l'HCB, du chlorure d'hydrogène, des matières particulaires, des PCDD, des PCDF, des PCB, des métaux lourds et de la vapeur d'eau⁸¹. Les incinérateurs qui appliquent les meilleures techniques disponibles, c'est-à-dire qui sont notamment conçus pour fonctionner à de hautes températures, afin d'éviter la reformation de PCDD et PCDF et d'éliminer ces substances (en utilisant des filtres à charbon actif, par exemple), ont donné lieu à de très faibles émissions dans l'air et dans

⁷⁵ Pour de plus amples informations, voir Agence danoise de protection de l'environnement, 2004 ; Federal Remediation Technology Roundtable (FRTR), 2002 ; Rahuman *et al.*, 2000 ; PNUE, 1995b ; PNUE, 1998 ; PNUE, 2001 ; et United States Army Corps of Engineers, 2003. De plus, pour des informations complémentaires sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales concernant les incinérateurs de déchets dangereux, voir PNUE, 2015.

⁷⁶ Voir FRTR, 2002 ; Rahuman *et al.*, 2000 ; PNUE, 1998 ; et PNUE, 2001.

⁷⁷ Voir PNUE, 1995b.

⁷⁸ Voir PNUE, 1995b ; PNUE, 1998 ; et PNUE, 2004b.

⁷⁹ <http://polystyreneloop.org/>

⁸⁰ <http://ozone.unep.org/en/treaties-and-decisions/montreal-protocol-substances-deplete-ozone-layer>

⁸¹ Voir PNUE, 1995b ; PNUE, 1998 ; et PNUE, 2004b.

l'eau de PCDD et PCDF⁸². Dans les résidus, les PCDD et PCDF se trouvent principalement dans les cendres volantes et le sel et, dans une certaine mesure, dans le mâchefer et les boues d'épuration. Les niveaux de PCDD/F dans les cendres volantes issues d'incinérateurs de déchets dangereux peuvent être de l'ordre de 0,0002 à 124,5 ng TEQ/g⁸³.

254. *Maîtrise des rejets et post-traitement* : les gaz de procédé peuvent nécessiter un traitement destiné à éliminer le chlorure d'hydrogène et les matières particulaires, ainsi qu'à prévenir la formation de POP et à éliminer ceux qui ont été produits de façon non intentionnelle (les oxydes de soufre et d'azote, métaux lourds et micropolluants organiques tels que les HAP, comme le monoxyde de carbone, servent d'indicateurs du rendement de combustion). Pour ce faire, on peut conjuguer différents types de post-traitements faisant appel notamment à des cyclones et multicyclones, des filtres électrostatiques, des filtres à lit statique, des laveurs, une réduction catalytique sélective, des systèmes de refroidissement rapide et une adsorption sur charbon⁸⁴. Selon leurs caractéristiques, le mâchefer et les cendres volantes peuvent nécessiter une mise en décharge dans un endroit spécialement aménagé ou un stockage permanent dans des mines ou formations souterraines⁸⁵.

255. *Besoins énergétiques* : la quantité de combustible nécessaire dépendra de la composition et de la valeur calorifique des déchets ainsi que des techniques employées pour le traitement des gaz de combustion.

256. *Matières requises* : les matières nécessaires sont notamment de l'eau de refroidissement et de la chaux ou un autre produit adapté pour l'élimination des gaz acides et d'autres polluants, tel que le charbon actif.

257. *Mobilité* : les incinérateurs de déchets dangereux sont disponibles en configuration fixe ou mobile.

258. *Santé et sécurité* : les risques pour la santé et la sécurité sont notamment ceux liés à des opérations exigeant des températures élevées⁸⁶.

259. *Capacité* : les incinérateurs de déchets dangereux peuvent traiter de 30 000 à 100 000 tonnes de déchets par an⁸⁷.

260. *Autres questions pratiques* : aucun autre point n'est à signaler pour l'instant.

261. *État de commercialisation* : on dispose d'une longue expérience de l'incinération des déchets dangereux⁸⁸.

h) Jet de plasma⁸⁹

262. *Description du procédé* : les déchets, sous forme liquide ou gazeuse, sont directement injectés dans le plasma et portés rapidement (<1 ms) à une température d'environ 3 100 °C, puis soumis à une pyrolyse pendant environ 20 ms dans la chambre de réaction à refroidissement par eau (tube de vol). La température élevée provoque une dissociation des composés en ions et atomes élémentaires. Une recombinaison, qui se produit dans une zone moins chaude de la chambre de réaction, est suivie d'un refroidissement rapide entraînant la formation de molécules simples⁹⁰. Le système à jet de plasma exige un dispositif de réduction des monoxydes d'azote (NOx), d'importantes quantités de ces substances étant produites par la flamme à haute température.

⁸² PNUE, 2001.

⁸³ BiPRO GmbH, 2005 ; Petrlik, J. et R. Ryder (2005). After Incineration: The Toxic Ash Problem. Disponible en ligne à l'adresse : http://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen_incineration_ash-en.pdf. Prague, Manchester, IPEN Dioxin, PCBs and Waste Working Group, Arnika Association: 59.; Cobo, M., A. Gálvez, J. Conesa et C. Montes de Correa (2009). "Characterization of fly ash from a hazardous waste incinerator in Medellin, Colombia." Journal of Hazardous Materials 168: 1223-1232.

⁸⁴ PNUE, 2004b.

⁸⁵ Voir United States Army Corps of Engineers, 2003.

⁸⁶ *Ibid.*

⁸⁷ Voir PNUE, 2004b.

⁸⁸ Voir PNUE, 2001.

⁸⁹ On trouvera de plus amples informations dans CMPS&F – Environment Australia, 1997 ; Costner et al., 1998 ; Rahuman et al., 2000 ; Ray, 2001 ; PNUE, 1998 ; PNUE, 2000 ; PNUE, 2001 ; et PNUE, 2004a.

⁹⁰ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997.

263. Les directives sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales élaborées par la Convention de Stockholm en liaison avec l'article 5 et l'annexe C devraient être utilisées et appliquées à cette technologie (PNUE, 2007).
264. *Rendement* : des essais en laboratoire avec des huiles contenant 60 % de PCB ont donné des rendements d'élimination par destruction compris entre 99,9999 et 99,999999 %⁹¹. Il est possible d'atteindre un rendement de destruction de 99,9999 % pour la plupart des pesticides constituant des POP, notamment le chlordane, le chlordécone, le DDT, l'endosulfan et l'heptachlore.
265. *Types de déchets* : les installations à jet de plasma ont servi à traiter un large éventail de PCB, de POP constituant des pesticides, de halons et de chlorofluorohydrocarbures. Les types de déchets à traiter doivent être des liquides ou des gaz, ou des solides si les déchets sont contenus dans une fine boue liquide pompable. Les liquides très visqueux ou les boues plus épaisses que l'huile de moteur de grade 30 ou 40 nécessitent un traitement préalable. Les autres déchets solides ne peuvent être traités que s'ils ont fait l'objet d'un traitement préalable approprié⁹².
266. *Traitement préalable* : pour la plupart des liquides, aucun traitement préalable n'est nécessaire. Les solides comme les sols contaminés, les condensateurs et les transformateurs peuvent être prétraités par désorption thermique ou extraction au solvant⁹³.
267. *Émissions et résidus* : les émissions sont constituées notamment de gaz comme l'argon, le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau. Les résidus comprennent une solution aqueuse de sels de sodium inorganiques comme le chlorure de sodium, le bicarbonate de sodium et le fluorure de sodium. Des traces de PCDD et de PCDF ont été détectées dans les effluents gazeux des systèmes à jet de plasma, à une concentration inférieure à 0,01 ng TEQ/Nm³. Les concentrations de POP dans les résidus solides ne sont pas connues⁹⁴.
268. *Post-traitement* : on ne dispose guère d'informations à l'heure actuelle sur les exigences en matière de post-traitement.
269. *Besoins énergétiques* : un système à jet de plasma de 150 kW exige de 1 000 à 3 000 kWh d'électricité par tonne de déchets traités⁹⁵.
270. *Matières requises* : on ne dispose guère d'informations à l'heure actuelle sur les matières requises. Il est toutefois précisé que ce procédé exige de l'argon, de l'oxygène gazeux, de la soude et de l'eau de refroidissement⁹⁶.
271. *Mobilité* : les systèmes à jet de plasma sont disponibles en unités mobiles ou fixes⁹⁷.
272. *Santé et sécurité* : le débit de ce procédé étant faible, le risque de rejet de déchets partiellement traités à la suite de défaillances du processus est faible⁹⁸. On ne dispose guère d'informations supplémentaires à l'heure actuelle en matière de santé et de sécurité.
273. *Capacité* : le système à jet de plasma de 150 kW peut traiter de 1 à 3 tonnes de déchets par jour⁹⁹.
274. *Autres questions pratiques* : il convient de noter que les composés métalliques et de métalloïdes (tels que l'arsenic) peuvent interférer avec les catalyseurs ou causer des problèmes d'élimination de résidus. C'est, par exemple, ce qui s'est produit avec les composés arsenicaux contenus dans des déchets de pesticides envoyés en Australie par certaines îles du Pacifique pour être éliminés au moyen de ce procédé.
275. *État de commercialisation* : la société BCD Technologies Pty Ltd. exploite deux installations à jet de plasma en Australie : l'une à Brisbane pour les PCB et autres POP, l'autre à Melbourne pour les CFC et les halons. Elle exploite également une installation pour les PCB et les POP peu concentrés ainsi que deux désorbeurs thermiques pour le traitement de solides contaminés.

⁹¹ Voir Rahuman *et al.*, 2000, et PNUE, 2004a.

⁹² Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997, et PNUE, 2004a.

⁹³ *Ibid.*

⁹⁴ *Ibid* 69.

⁹⁵ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997.

⁹⁶ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997, et PNUE, 2004a.

⁹⁷ Voir PNUE, 2004a.

⁹⁸ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997, et PNUE, 2004a.

⁹⁹ *Ibid.*

i) Décomposition par fusion plasma

276. *Description du procédé* : la décomposition par fusion plasma est un procédé de réduction thermique des déchets solides contenant des PCB ou contaminés par ces substances. Ces déchets sont directement placés dans des conteneurs, tels que des fûts ou des seaux, sans cisailage ni désassemblage préalable. Dans le four à plasma, la torche à plasma produit un gaz plasma (air) à haute température, de sorte que la température du four est maintenue pour faire fondre les déchets ainsi que le conteneur. Toutes les substances organiques, notamment les PCB, sont décomposées en CO₂, H₂O et HCl aux hautes températures régnant dans le four à plasma, tandis que les matières inorganiques, y compris les métaux, sont oxydées en laitiers fondus. Le four à plasma dépasse les 1 400 °C (Tagashira *et al.*, 2006).

277. *Rendement* : au Japon, une installation pilote de conversion de déchets par plasma a été mise à l'essai pour le traitement des PCB en 2006. Le résultat a montré que les rendements de destruction atteignaient de 99,9999454 à 99,9999997 % et les rendements d'élimination par destruction de 99,9999763 à 99,9999998 % (Tagashira *et al.*, 2006).

278. *Types de déchets* : dans les installations commerciales japonaises, les déchets solides contenant des PCB ou contaminés par ces substances, tels que les ballasts d'éclairage fluorescent, les boues d'épuration, le papier sans carbone et les contaminants secondaires peuvent être traités par fusion plasma (JESCO, 2009).

279. *Traitement préalable* : les installations commerciales au Japon utilisent des conteneurs, tels que des fûts ou des seaux dans lesquels les déchets contaminés par les PCB sont mélangés avec des agents de contrôle de la basicité tels que le calcaire ou le sable de silice, au besoin, et injectés dans le four à plasma (JESCO, 2009).

280. *Émissions et résidus* : l'installation de traitement par fusion plasma de JESCO peut se conformer à des niveaux d'émission atmosphérique de dioxines inférieurs à 0,1 ng TEQ/Nm³ (JESCO, 2009). Les niveaux d'émission atmosphérique de dioxines se situaient entre 0,0000043 et 0,068 ng TEQ/Nm³ dans une installation pilote (Tagashira *et al.*, 2006). Grâce à un système de pointe pour le traitement des gaz, ces niveaux peuvent être maintenus dans une fourchette de 0,00001 à 0,001 ng TEQ/Nm³ (Tagashira *et al.*, 2007).

281. *Maîtrise des rejets et post-traitement* : au Japon, en guise de contrôle de la pollution, un dépoussiéreur à sacs filtrants à deux étages associé à l'injection de calcaire et de charbon actif pulvérisé débarrassent les gaz de combustion des poussières, des gaz acides tels que le HCl et les SO_x, et des dioxines, tandis que des tours catalytiques à injection de gaz NH₃ élimine les NO_x. Le charbon actif est installé au dernier étage (Tagashira *et al.*, 2006).

282. *Matières requises* : on signale que la conversion de déchets par fusion plasma exige de la chaux et du charbon actif (Tagashira *et al.*, 2006). Afin d'améliorer la fluidité des laitiers fondus, des agents de contrôle de la basicité tels que le sable de silice ou le calcaire peuvent également être nécessaires.

283. *Mobilité* : la conversion de déchets par fusion plasma n'est disponible que dans des unités fixes (JESCO, 2009a).

284. *Capacité* : au Japon, il a été démontré que les deux installations de traitement par fusion plasma de JESCO sont capables de traiter 10,4 tonnes et 12,2 tonnes par jour de déchets contenant des PCB, respectivement (JESCO, 2009a ; JESCO, 2013).

285. *État de commercialisation* : au Japon, l'installation de traitement par fusion plasma de JESCO à Kitakyushu, d'une capacité de 10,4 tonnes de déchets de PCB par jour, utilise la technologie de conversion de déchets par plasma à une échelle commerciale depuis juillet 2009 (JESCO, 2009a) ; une installation de même type à Hokkaido, d'une capacité de 12,2 tonnes de déchets de PCB par jour, devait entrer en exploitation commerciale à l'automne 2013 (JESCO, 2013).

286. *Autres informations* : pour de plus amples informations, se reporter au site Internet <http://www.jesconet.co.jp/eg/pdf/plasma.pdf>.

j) Oxydation dans l'eau supercritique et oxydation dans l'eau sous-critique¹⁰⁰

287. *Description du procédé* : l'oxydation dans l'eau supercritique et l'oxydation dans l'eau sous-critique traitent les déchets dans un système fermé au moyen d'un oxydant (oxygène, peroxyde d'hydrogène, nitrite, nitrate, par exemple) dans de l'eau à des températures et des pressions supérieures au point critique de l'eau (374 °C et 218 atmosphères) et dans des conditions sous-critiques (370 °C et

¹⁰⁰ On trouvera de plus amples informations dans CMPS&F – Environment Australia, 1997 ; Costner *et al.*, 1998 ; Rahuman *et al.*, 2000 ; PNUE, 2001 ; et PNUE, 2004a.

262 atmosphères). Dans ces conditions, les matières organiques deviennent hautement solubles dans l'eau et sont oxydées pour produire du dioxyde de carbone, de l'eau et des acides ou des sels inorganiques.

288. *Rendement* : des rendements de destruction supérieurs à 99,999 % et des rendements d'élimination par destruction de plus de 99,9999 % ont été rapportés pour le chlordane, le DDT et les PCB dans le cas de l'oxydation dans l'eau supercritique (Ministère japonais de l'environnement, 2004). Des rendements de destruction supérieurs à 99,999999 % et des rendements d'élimination par destruction de plus de 99,9999999 % ont été signalés pour l'oxydation dans l'eau sous-critique (Ministère japonais de l'environnement, 2004). Des rendements d'élimination par destruction atteignant 99,9999 % ont en outre été démontrés pour les PCDD lors d'essais en laboratoire¹⁰¹. L'efficacité de l'oxydation dans l'eau supercritique a été démontrée pour le traitement des produits chimiques chlorés toxiques tels que les PCB, les pesticides et les retardateurs de flamme (Marrone et Hong, 2007). Globalement, ce procédé affiche habituellement un rendement de destruction supérieur à 99,99 % pour un large éventail de composés organiques (Marrone et Hong, 2007).

289. *Types de déchets* : on pense que l'oxydation dans l'eau supercritique et l'oxydation dans l'eau sous-critique peuvent être utilisées pour tous les POP¹⁰². Les types de déchets pouvant être traités comprennent les déchets aqueux, les huiles, les solvants et les solides de granulométrie inférieure à 200 µm. La teneur organique des déchets est limitée à moins de 20 % en poids¹⁰³.

290. *Traitement préalable* : les déchets concentrés peuvent exiger une dilution avant le traitement par oxydation dans l'eau supercritique pour en ramener la teneur organique à moins de 20 % en poids. Dans le cas de l'oxydation dans l'eau sous-critique, une dilution n'est pas nécessaire. Si des solides sont présents dans les déchets, il est nécessaire d'en ramener la granulométrie à moins de 200 µm. D'autres options de traitement sont possibles, dont, entre autres, l'ajout de combustible aux déchets de faible concentration, le co-traitement des déchets dilués et concentrés et la déshydratation partielle des boues. Dans le cas d'une oxydation dans l'eau sous-critique, la dilution des déchets n'est pas nécessaire.

291. *Émissions et résidus* : Dans des conditions d'exploitation supérieures à la fourchette critique de 500 °C-650 °C à 25 MPa, avec un temps de séjour dans le réacteur inférieur à une minute pour une destruction complète, il n'y a pas formation de PCDD/PCDF, NO_x ni d'autres sous-produits toxiques au cours de l'oxydation dans l'eau supercritique (Marrone, 2013). Toutefois, lors la destruction de PCB en laboratoire, il a été montré que l'oxydation dans l'eau supercritique pouvait entraîner la formation de fortes concentrations de PCDF lors de la dégradation des PCB, au cours d'expériences réalisées à une température inférieure à 450°C (Weber, 2004). Il a été rapporté que les émissions ne contiennent pas d'oxydes d'azote ou de gaz acides comme le chlorure d'hydrogène ou les oxydes de soufre et que les résidus du procédé sont de l'eau et des produits solides si les déchets contiennent des sels inorganiques ou des composés organiques avec des halogènes, du soufre ou du phosphore¹⁰⁴. Les informations sont limitées en ce qui concerne les concentrations potentielles de produits chimiques non détruits.¹⁰⁵ Le procédé est conçu de telle sorte que les émissions et les résidus puissent être captés en vue d'un retraitement si besoin est¹⁰⁶.

292. *Maîtrise des rejets et post-traitement* : à l'heure actuelle, on ne dispose pas d'informations particulières sur les exigences en matière de post-traitement.

293. *Besoins énergétiques* : les besoins énergétiques devraient être relativement élevés étant donné que le procédé exige à la fois des températures et des pressions élevées. Il a cependant été affirmé que tant que la charge a une teneur en hydrocarbures relativement forte, il n'est pas nécessaire de fournir de l'énergie pour la porter aux températures supercritiques¹⁰⁷.

294. *Matières requises* : les réacteurs d'oxydation doivent être réalisés en matériaux capables de résister à la corrosion due aux ions halogènes¹⁰⁸. Aux températures et pressions mises en œuvre dans ces procédés, la corrosion des matériaux peut être sévère. Dans le passé, il a été proposé d'utiliser des

¹⁰¹ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997 ; Rahuman *et al.*, 2000 ; et Vijgen, 2002.

¹⁰² Voir PNUE, 2004a.

¹⁰³ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997 ; Rahuman *et al.*, 2000 ; et Vijgen, 2002.

¹⁰⁴ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997.

¹⁰⁵ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997, et PNUE, 2004a.

¹⁰⁶ Voir PNUE, 2004a.

¹⁰⁷ Voir Rahuman *et al.*, 2000.

¹⁰⁸ Voir Vijgen, 2002.

alliages de titane pour résoudre le problème. Les fournisseurs actuels affirment avoir surmonté ce problème en utilisant des matériaux et des conceptions de pointe¹⁰⁹.

295. *Mobilité* : des unités d'oxydation dans l'eau supercritique et d'oxydation dans l'eau sous-critique sont actuellement utilisées en configurations fixes, mais on pense qu'elles pourraient être mobiles¹¹⁰.

296. *Santé et sécurité* : les températures et les pressions élevées mises en œuvre dans les procédés d'oxydation dans l'eau supercritique et d'oxydation dans l'eau sous-critique obligent à prendre des précautions particulières en matière de sécurité¹¹¹.

297. *Capacité* : les unités de démonstration actuelles pour l'oxydation dans l'eau supercritique sont capables de traiter 500 kg/h, mais les unités industrielles peuvent être conçues pour traiter jusqu'à 10 000 kg/h (Marrone, 2013).

298. *Autres questions pratiques* : les modèles anciens étaient sujets à des problèmes de fiabilité, de corrosion et de colmatage. Les fournisseurs actuels affirment que ces problèmes ont été résolus grâce à l'utilisation d'une conception spéciale du réacteur et de matériaux résistant à la corrosion¹¹².

299. *État de commercialisation* : une installation industrielle d'oxydation dans l'eau supercritique d'une capacité de traitement de 2 tonnes de déchets par jour a été installée en 2005 et est aujourd'hui en fonctionnement au Japon (JESCO, 2009d). En outre, le déploiement et l'utilisation à grande échelle du procédé d'oxydation dans l'eau supercritique ont été approuvés dans le cadre du programme de destruction des armes chimiques mis en place par les États-Unis. Il existe également des installations exploitées commercialement en France et en Corée (Marrone *et al.*, 2013).

k) Production de métaux par procédés thermiques et métallurgiques

300. *Description du procédé* : les procédés décrits ci-après sont essentiellement conçus pour la récupération du fer et des métaux non ferreux, par exemple, aluminium, zinc, plomb et nickel, à partir de concentrats de minerais ainsi que de matières premières secondaires (intermédiaires, déchets, ferraille). Cependant, compte tenu de leur nature, les procédés sont utilisés dans certains cas à l'échelle commerciale pour la destruction des POP contenus dans les déchets qui s'y prêtent (voir paragraphe 303). On trouvera également une description générale de certains des procédés suivants dans les documents de référence sur les meilleures techniques disponibles applicables à l'industrie des métaux non ferreux (Commission européenne, 2001a et 2001b) :

a) Les procédés utilisés pour la destruction des POP présents dans les déchets contenant du fer font appel à certains types de hauts-fourneaux, de fours à cuve ou de fours à sole. Tous ces procédés fonctionnent en atmosphère réductrice à des températures élevées (de 1 200 °C à 1 450 °C). L'atmosphère réductrice et la température élevée détruisent les PCDD et les PCDF contenus dans les déchets et évitent les synthèses « de novo ». Les procédés en haut-fourneau et en four à cuve utilisent du coke et de petites quantités d'autres agents réducteurs pour réduire la matière contenant du fer introduite dans le système et produire de la fonte. Il n'y a pas d'émissions directes de gaz de procédé car le gaz est utilisé comme combustible secondaire. Dans le procédé en four à sole, la matière contenant du fer est chargée dans un four à sole multiple avec le charbon. L'oxyde de fer est d'abord directement réduit en fer réduit direct à l'état solide et, dans un deuxième temps, fondu dans un four à arc électrique pour produire de la fonte.

b) Les procédés utilisés pour la destruction des POP présents dans les déchets contenant des métaux non ferreux sont le procédé de Waelz à four rotatif et la fusion au bain en four vertical ou horizontal. Ces procédés réducteurs atteignent des températures de 1 200 °C et utilisent un refroidissement rapide permettant de détruire les PCDD et les PCDF et d'éviter les synthèses « de novo ». Dans le procédé de Waelz, les poussières d'aciérie, boues d'épuration, tourteaux de filtrage et autres déchets contenant du zinc sont transformés en granulats et fondus en présence d'un réducteur. À une température de 1 200 °C, le zinc se volatilise et devient de l'« oxyde de Waelz », lequel est récupéré dans une unité de filtrage. Dans le procédé à four vertical, les résidus contenant du cuivre sont utilisés comme catalyseurs et fondus à des températures d'au moins 1 200 °C. Le tourteau de filtrage permet de produire du zinc et des composés de zinc. Dans le procédé à four horizontal, les résidus et les concentrats de minerais contenant du plomb sont déversés en continu dans un bain de fusion divisé en une zone d'oxydation et une zone de réduction à des températures comprises entre 1 000 °C et 1 200 °C.

¹⁰⁹ *Ibid.*

¹¹⁰ Voir PNUE, 2004a, et Vijgen, 2004.

¹¹¹ Voir CMPS&F – Environment Australia, 1997.

¹¹² *Ibid.*

Le gaz de procédé (concentration de dioxyde de soufre supérieure à 10 %) sert à la production d'acide sulfurique après récupération de la chaleur et dépolluissage. Les poussières provenant du procédé sont recyclées après lessivage du cadmium.

301. Les directives sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales élaborées par la Convention de Stockholm en liaison avec l'article 5 et l'annexe C concernant les procédés thermiques dans l'industrie métallurgique devraient être utilisées et appliquées à cette technologie (PNUE, 2007).

302. *Rendement* : on ne dispose pas de données sur les rendements de destruction et les rendements d'élimination par destruction.

303. *Types de déchets* : les procédés décrits au paragraphe 300 ci-dessus sont utilisés spécifiquement pour traiter les déchets suivants :

a) Résidus des procédés de production du fer et de l'acier, tels que les poussières et boues d'épuration des fumées ou la calamine, susceptibles d'être contaminés par des PCDD et des PCDF ;

b) Poussières de filtrage contenant du zinc et provenant des aciéries, poussières des systèmes d'épuration des gaz des fonderies de cuivre et autres, ainsi que résidus de lessivage contenant du plomb et provenant de la production de métaux non ferreux, susceptibles d'être contaminés par des PCDD et des PCDF ; et

c) Déchets d'équipements électriques et électroniques pouvant contenir des BDE qui constituent des POP (Brussels et al., 2006).

304. *Traitement préalable* : les matières contenant du fer qui sont recyclées à l'aide du procédé en haut-fourneau conventionnel exigent un traitement préalable dans une installation d'agglomération. Pour ce qui est du procédé en four à cuve (four « OxyCup® »), les déchets contenant du fer sont transformés en briquettes. La transformation en briquettes est un procédé à froid dans lequel on ajoute un liant et de l'eau aux fines, lesquelles sont ensuite compressées en briquettes, séchées et durcies. En général, le procédé à four à sole multiple ne nécessite aucun traitement préalable, même si dans certains cas particuliers les fines solides doivent être transformées en granulats. Pour la transformation en granulats, on ajoute de l'eau pour former des granulats dans un tambour. Les métaux non ferreux n'exigent en général aucun traitement préalable particulier des matières contaminées par des polluants organiques persistants.

305. *Émissions et résidus* : la production de fer et de métaux non ferreux peut entraîner le rejet de PCDD et de PCDF au cours du procédé lui-même ou en aval dans le système de traitement des gaz de combustion. L'application des meilleures techniques disponibles devrait toutefois prévenir ou du moins réduire au minimum ces émissions. Lors de l'utilisation des procédés décrits au paragraphe 300 ci-dessus pour la destruction des POP contenus dans les déchets, des techniques de contrôle des rejets et de post-traitement sont nécessaires (voir le paragraphe 306 ci-après). Les scories sont dans de nombreux cas utilisées dans la construction. En ce qui concerne les métaux ferreux, des émissions peuvent se produire à la suite du traitement préalable dans une installation d'agglomération ainsi qu'à partir des effluents gazeux des fours de fusion. Les résidus provenant du système de dépolluissage sont essentiellement utilisés dans l'industrie des métaux non ferreux. Les effluents gazeux des fours à sole multiple sont dépolluissés par un cyclone, traités par post-combustion, puis trempés et nettoyés en ajoutant un adsorbant et à l'aide d'un filtre à manche. Les effluents gazeux des fours de fusion subissent également un traitement par post-combustion et sont trempés avant d'être mélangés aux effluents gazeux des fours à sole multiple pour la phase d'adsorption conjointe. Pour les métaux non ferreux, les résidus sont notamment les poussières de filtrage et les boues provenant du traitement des eaux usées.

306. *Maîtrise des rejets et post-traitement* : le contrôle des températures et un refroidissement rapide sont souvent des moyens utiles pour réduire au minimum la formation de PCDD et PCDF. Il est nécessaire de traiter les gaz de procédé pour en éliminer les poussières qui sont essentiellement composées de métaux, d'oxydes métalliques ainsi que de dioxyde de soufre lors de l'extraction de matériaux sulfureux par fusion. Dans l'industrie des métaux ferreux, les gaz résiduels des installations d'agglomération sont traités à l'aide d'un précipitateur électrostatique suivi du traitement des gaz de combustion, au moyen, par exemple, de techniques d'adsorption suivies d'un filtre à manche supplémentaire. Les effluents gazeux provenant du four à sole multiple sont dépolluissés par un cyclone et traités par post-combustion, avant trempage et nouveau nettoyage par l'addition d'un adsorbant puis à l'aide d'un filtre à manche. Les gaz de combustion provenant des fours de fusion exigent également un traitement par post-combustion et un trempage puis sont combinés aux flux de gaz de combustion des fours à sole multiple pour traitement ultérieur par l'addition d'un adsorbant et à l'aide d'un filtre à manche. Les techniques de traitement adaptées à la production de métaux non ferreux

comprennent l'utilisation, entre autres, de sacs filtrants, de précipitateurs ou d'épurateurs électrostatiques, d'unités d'acide sulfurique et de techniques d'adsorption à l'aide de charbon actif.

307. *Besoins énergétiques* : les procédés de production du fer et des métaux non ferreux consomment beaucoup d'énergie, les différences étant importantes entre les divers métaux. Le traitement des POP contenus dans les déchets lors de ces procédés consomme peu d'énergie supplémentaire.

308. *Matières requises* : pour la production des métaux, on utilise des matières premières (minerais, concentrats ou matières secondaires) ainsi que des additifs (sable, calcaire, par exemple), des réducteurs (charbon et coke) et des combustibles (pétrole et gaz). Le contrôle de la température afin d'éviter une synthèse « de novo » des PCDD et des PCDF nécessite l'ajout d'eau pour le refroidissement rapide.

309. *Mobilité* : la fusion des métaux se fait dans de grandes unités à configuration fixe.

310. *Santé et sécurité* : le traitement des déchets par procédés thermiques peut être considéré comme sûr s'il est bien conçu et correctement mis en œuvre.

311. *Capacité* : les unités de fusion de métaux décrites ci-dessus peuvent traiter plus de 100 000 tonnes par an. L'expérience actuelle avec addition à la charge de déchets contaminés par des POP porte sur des quantités nettement moindres, mais il pourrait être possible de traiter des quantités plus importantes et des études sont actuellement menées à cet effet.

312. *Autres questions pratiques* : Aucune.

313. *État de commercialisation* : la production de fonte à partir de matières contenant du fer provenant de la production du fer et de l'acier en haut-fourneau conventionnel est pratiquée depuis quelques années en Allemagne (<http://www.dk-duisburg.de>), où un four à cuve (« four OxyCup ») est en service depuis 2003 (<http://www.thyssenkrupp.com>). Le procédé en four à sole est exploité à l'échelle industrielle au Luxembourg depuis 2003 (www.paulwurth.com) ainsi qu'en Italie (www.lucchini.it). Le procédé de Waelz à four rotatif est largement utilisé en appliquant les meilleures techniques disponibles qui sont mises en œuvre dans différents sites en Europe (<http://www.befesa-steel.com>). La fusion au bain en four vertical est utilisée en Allemagne (<http://www.aurubis.com>), tout comme la fusion au bain en four horizontal (www.berzelius.de).

3. **Autres méthodes d'élimination lorsque la destruction ou la transformation irréversible ne constitue pas l'option préférable du point de vue écologique**

314. Lorsque la destruction ou la transformation irréversible ne constituent pas l'option préférable du point de vue écologique pour des déchets où les taux de POP dépassent la faible teneur en POP mentionnée à section III.A ci-dessus, les pays peuvent autoriser l'élimination de ces déchets d'une manière écologiquement rationnelle par des méthodes autres que celles qui sont décrites à la section IV.G.2.

315. Les déchets contenant des POP ou contaminés par ces substances pour lesquelles ces autres méthodes d'élimination pourraient être envisagées comprennent les suivants, sans toutefois s'y limiter :

a) Les déchets provenant des centrales électriques et autres installations de combustion (à l'exception de celles qui sont énumérées au point d) ci-après), les déchets des industries métallurgique et sidérurgique et les déchets de la pyrométallurgie de l'aluminium, du plomb, du zinc, du cuivre et d'autres métaux non ferreux. Ces déchets comprennent des mâchefers, scories, scories salées, cendres volantes, cendres sous chaudière, poussières de filtration des fumées et autres matières particulaires et poussières, des déchets solides provenant du traitement des gaz, des crasses noires, des déchets provenant du traitement des scories salées et des crasses noires, des crasses et des écumes ;

b) Des revêtements et autres matériaux réfractaires à base de carbone et autres provenant de procédés métallurgiques ;

c) Les déchets suivants de construction et de démolition :

i) Mélanges ou fractions séparées de béton, briques, tuiles et céramiques ;

ii) La fraction inorganique des sols et des pierres, y compris le terrain excavé de sites contaminés ; et

iii) Déchets de construction et de démolition contenant des PCB, à l'exclusion des équipements contenant des PCB ;

d) Les déchets provenant de l'incinération ou de la pyrolyse de déchets, y compris les déchets solides issus du traitement des gaz, mâchefers, scories, cendres volantes et cendres sous chaudière ; et

e) Les déchets vitrifiés ou déchets de vitrification, y compris cendres volantes et autres déchets de traitement des gaz de combustion et les déchets non vitrifiés en phase solide.

316. L'autorité compétente du pays concerné devrait avoir l'assurance que la destruction ou la transformation irréversible des POP contenus, réalisée en appliquant les meilleures pratiques environnementales ou aux meilleures techniques disponibles, ne constitue pas l'option préférable du point de vue écologique.

317. Les autres méthodes d'élimination applicables lorsque la destruction ou la transformation irréversible ne constituent pas l'option préférable du point de vue écologique sont notamment celles décrites ci-après.

a) Décharge spécialement aménagée¹¹³

318. Toute mise en décharge ne devrait s'effectuer que d'une manière qui réduise au minimum le risque que les POP pénètrent dans l'environnement. On peut y parvenir en procédant à un traitement préalable. Une décharge spécialement aménagée devrait, d'une manière générale, être conforme aux prescriptions concernant l'emplacement, le conditionnement, la gestion, le contrôle, la fermeture et les mesures de prévention et de protection à prendre contre toute menace pour l'environnement à la fois à court et à long terme. Notamment des mesures devraient prévenir la pollution des eaux souterraines par l'infiltration de lixiviat dans le sol. La protection du sol, des eaux souterraines et des eaux superficielles devrait être assurée par le biais à la fois d'une barrière géologique et d'un revêtement de fond synthétique durant la phase opérationnelle et par le biais d'une barrière géologique et d'un revêtement de couverture pendant la phase de fermeture et par la suite. Il faudrait prendre des mesures pour prévenir et réduire la production de gaz et, selon les besoins, instituer des systèmes de collecte et de contrôle des gaz dans la décharge.

319. Les produits chimiques, dont les POP, contenus dans les lixiviats et rejetés dans l'environnement récepteur peuvent avoir un impact sur l'environnement et la santé humaine. Des techniques de traitement sur site des lixiviats des décharges devraient être mises en place afin de réduire les lixiviats toxiques et prévenir leur infiltration dans l'environnement. Les lixiviats peuvent être traités au moyen de méthodes physico-chimiques et biologiques ou de techniques de pointe, dont, entre autres, la filtration au charbon actif, l'osmose inverse et la nanofiltration.

320. Il faudrait en outre adopter une procédure uniforme d'acceptation des déchets sur la base d'une procédure de classement des déchets acceptables comportant en particulier des valeurs limites standardisées de concentration. De surcroît, des procédures de surveillance durant les phases opérationnelle et post-fermeture devraient être instaurées en vue de déterminer et d'éviter les effets nocifs potentiels de la décharge pour l'environnement et de prendre les mesures correctives appropriées. Une procédure d'autorisation spécifique devrait être adoptée pour une décharge. Les autorisations devraient comporter des spécifications relatives aux types de déchets et aux concentrations admis, aux systèmes de contrôle des lixiviats et des gaz, à la surveillance, à la sécurité sur le site ainsi qu'à la fermeture et à la phase de post-fermeture.

321. Les déchets suivants contenant des PCB ou contaminés par ces substances ne se prêtent pas à une mise en décharge dans un endroit spécialement aménagé :

- a) Liquides et matières contenant des liquides à l'état libre ;
- b) Déchets organiques biodégradables ;
- c) Conteneurs vides, à moins qu'ils ne soient écrasés, broyés ou réduits de volume d'une manière analogue ;
- d) Explosifs, solides inflammables, matières auto-inflammables et auto-échauffantes, matières réactives à l'eau, matières solides pyrophoriques, déchets auto-réactifs, comburants, peroxydes organiques ainsi que déchets corrosifs et infectieux.

b) Stockage permanent dans des mines et formations souterraines

322. Le stockage permanent dans des installations souterraines aménagées dans des mines de sel et des formations de roches dures isolées du point de vue géologique et hydrologique est une option permettant d'isoler les déchets dangereux de la biosphère pendant des périodes géologiques. Pour chaque installation de stockage souterrain prévue, une évaluation de la sécurité du site devrait être effectuée conformément à la législation nationale applicable, par exemple aux dispositions figurant à

¹¹³ Pour de plus amples informations, voir PNUE, 1995c ainsi que les textes législatifs nationaux pertinents tels que la Directive du Conseil européen n° 1999/31/CE du 26 avril 1999 sur la mise en décharge des déchets.

l'appendice A de l'annexe à la décision du Conseil européen n° 2003/33/CE du 19 décembre 2002 (établissant des critères et des procédures d'admission des déchets dans les décharges, conformément à l'article 16 et à l'Annexe II de la Directive du Conseil 1999/31/CE).

323. Il faudrait éliminer les déchets de façon à exclure toute réaction indésirable entre différents déchets ou entre les déchets et le revêtement de l'enceinte de stockage, notamment par le stockage des déchets dans des conteneurs chimiquement et mécaniquement sûrs. Les déchets liquides, gazeux, émettant des gaz toxiques, explosifs, inflammables ou infectieux ne devraient pas être stockés dans des mines souterraines. Les permis d'exploitation devraient spécifier les types de déchets qu'il convient d'exclure de façon générale.

324. Les points suivants devraient être pris en compte pour la sélection de stockages permanents aux fins de l'élimination de déchets de POP :

- a) Les cavernes ou tunnels utilisés pour le stockage devraient être complètement isolés des zones d'activité minière et des zones susceptibles d'être rouvertes à ces activités ;
- b) Les cavernes ou tunnels devraient se trouver dans des formations géologiques situées très en dessous des zones qui peuvent contenir des eaux souterraines ou dans des formations totalement isolées, par des roches imperméables ou des couches d'argile, des zones aquifères ;
- c) Les cavernes ou tunnels devraient être situés dans des formations géologiques extrêmement stables et hors de toute zone sismique.

4. Autres méthodes d'élimination lorsque la teneur en POP est faible

325. Si les déchets présentant un taux de POP inférieur à la faible teneur en POP ne sont pas éliminés au moyen des méthodes décrites ci-dessus, ils devraient l'être d'une manière écologiquement rationnelle conforme à la législation nationale et aux règles, normes et directives internationales pertinentes, y compris les directives techniques spécifiques élaborées dans le cadre de la Convention de Bâle.

326. En fonction, entre autres, du type de flux de déchets en question, on choisira la méthode d'élimination appropriée pour gérer les déchets de manière écologiquement rationnelle. Par exemple, des directives techniques sur la gestion écologiquement rationnelle de plusieurs flux de déchets ont été élaborées en application de la Convention de Bâle et sont disponibles sur le site www.basel.int.

327. On trouvera des exemples de textes législatifs nationaux pertinents dans l'annexe II du présent document.

H. Décontamination des sites contaminés

1. Identification des sites contaminés

328. Sur les sites de stockage, des pratiques inadaptées en matière de manipulation et de stockage peuvent en particulier se traduire par des rejets de POP entraînant une contamination des sites¹¹⁴ par de hauts niveaux de POP qui risquent de poser de sérieux problèmes en matière d'environnement et de santé. L'identification de ces sites est la première étape dans la gestion des problèmes potentiels.

329. L'identification de ces sites peut être menée en plusieurs étapes, qui sont notamment les suivantes :

- a) Identification des sites suspectés, tels que ceux impliqués actuellement ou historiquement dans :
 - i) La fabrication de POP ;
 - ii) D'autres procédés énumérés dans l'annexe C à la Convention de Stockholm qui conduisent à la production non intentionnelle de POP ;
 - iii) La préparation de pesticides, ainsi que le remplissage et le remplissage de transformateurs ;
 - iv) L'utilisation et le stockage de POP, notamment l'application de pesticides et la mise en place de transformateurs ; et
 - v) L'élimination de déchets de POP ;

¹¹⁴ L'identification des sites contaminés devrait également inclure ceux où des précurseurs de POP ont été utilisés et stockés (p. ex. l'utilisation du sulfuramide en tant que pesticide qui est un précurseur du SPFO).

- vi) La fabrication d'équipements, de matériaux, d'articles (transformateurs, condensateurs, etc.) contenant des POP ;
- vii) Les accidents, notamment les incendies impliquant des liquides ou autres matériaux contenant des POP ou pollués par ces substances ;
- viii) Les sites de maintenance d'équipements contenant des POP.
- b) Passage en revue des données actuelles et anciennes relatives aux sites suspectés ;
- c) Programme de tests préliminaires visant à confirmer la présence ou l'absence des contaminants suspectés et à caractériser les conditions physiques du site suspecté ; et
- d) Programme de tests approfondis visant à définir plus précisément la nature de la contamination du site et à réunir les données complémentaires qui peuvent être nécessaires.

330. Il existe de nombreuses informations sur l'identification des sites contaminés. Par exemple, le Groupe d'experts sur les POP de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI) a élaboré un ensemble complet d'outils visant à aider les pays en développement à identifier, classer et hiérarchiser les sites contaminés par des POP et à mettre au point des technologies adaptées pour la décontamination des sols, conformément aux meilleures techniques disponibles et aux meilleures pratiques environnementales (ONUDI, 2010). D'autres informations figurent également dans le Manuel de référence sur l'évaluation de la contamination des sols (FAO, 2000) et dans le Document d'orientation sur la gestion des sites contaminés au Canada (Conseil canadien des ministres de l'environnement, 1997).

2. Décontamination écologiquement rationnelle

331. Les critères relatifs à la contamination des sites établis par les gouvernements à l'aide de techniques d'évaluation des risques servent d'objectifs généraux dans la décontamination des sites. Des critères distincts peuvent être élaborés ou adoptés pour les sols, les sédiments et les eaux souterraines. On fait souvent une distinction entre les critères de qualité des sols selon l'usage du site, à savoir industriel (critères les moins contraignants), commercial, résidentiel ou agricole (critères les plus contraignants). On trouvera des exemples de tels critères dans l'arrêté fédéral allemand sur la protection des sols et les sites contaminés, l'ordonnance suisse sur la pollution des sols et les directives canadiennes sur la qualité de l'environnement¹¹⁵.

332. On trouvera des informations sur les méthodes utilisées actuellement pour la décontamination des sites contaminés par des POP, y compris des directives sur l'évaluation des sites, les programmes de décontamination et l'évaluation des risques, dans diverses sources, dont les suivantes¹¹⁶ :

- a) Conseil canadien des ministres de l'Environnement, 1997. *Document d'orientation sur la gestion des lieux contaminés au Canada*. Disponible sur le site www.ccme.ca et le Plan d'action canadien pour les sites contaminés fédéraux. Disponible sur le site <http://www.federalcontaminatedsites.gc.ca/default.asp?lang=en&n=BAC292EB-1>
- b) FAO, 2001. *Manuel de formation sur l'établissement d'inventaires de pesticides périmes*, Pesticide Disposal Series No 10. Disponible sur le site www.fao.org.
- c) Federal Remediation Technology Roundtable (FRTR), 2002. *Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Version 4.0*. Disponible à l'adresse www.frtr.gov/matrix2/toppage.html.
- d) Agence américaine de protection de l'Environnement (EPA) :
<http://www.epa.gov/superfund/>
http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/risk_superfund.htm
<http://www.epa.gov/superfund/cleanup/pasi.htm>,
<http://www.epa.gov/superfund/policy/remedy/sfremedy/rifs.htm>,
<http://www.epa.gov/superfund/cleanup/rdra.htm>
<https://clu-in.org/>
- e) United States Army Corps of Engineers, 2003. *Safety and Health Aspects of HTRW Remediation technologies*. Disponible à l'adresse http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/EM_1110-1-4007_sec/EM_1110-1-4007.pdf ; et

¹¹⁵ Voir Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2002, et l'annexe II (exemples de législations nationales pertinentes) ci-après.

¹¹⁶ Pour les références complètes, voir l'annexe III (Bibliographie) ci-après.

f) Vijgen, 2002. « NATO/CCMS Pilot Study: Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment of Contaminated Land and Groundwater. » Disponible à l'adresse <https://www.clu-in.org/download/partner/2001annualreport.pdf>.

I. Santé et sécurité¹¹⁷

333. D'une façon générale, trois grands types de mesures permettent de protéger les travailleurs et le public contre les risques chimiques (par ordre de préférence) :

- a) Tenir les travailleurs et le public éloignés de toutes les sources de contamination possibles ;
- b) Contrôler les contaminants de façon à réduire au minimum les possibilités d'exposition ;
- c) Protéger les travailleurs et veiller à ce qu'ils utilisent des équipements de protection individuelle.

334. Des informations sur la santé et la sécurité sont également disponibles auprès de l'Organisation internationale du Travail (OIT, 1999a et 1999b), de l'OMS (OMS, 1995 et 1999), dans la base de données INCHEM mise en place par le Programme international sur la sécurité des substances chimiques (PISC, diverses dates) et auprès du gouvernement britannique (voir *Protection of workers and the general public during the development of contaminated land*, Circulaire administrative d'orientation HS(G) 66-H HMSO) ainsi que dans le Manuel d'orientation concernant les activités des sites de déchets dangereux (NIOSH, 1985). Des exemples d'application pratique se trouvent dans PNUE 2001.

335. Des plans de protection sanitaire et de sécurité devraient être en place dans toutes les installations où des déchets de POP sont manipulés, afin d'assurer la protection de toutes les personnes se trouvant à l'intérieur et à proximité de ces endroits. Le plan de protection sanitaire et de sécurité de chaque installation devrait être établi par un spécialiste dûment formé aux questions de santé et de sécurité et ayant l'expérience de la gestion des risques pour la santé liés aux POP concernés.

336. Tous les plans de protection sanitaire et de sécurité devraient répondre aux principes énoncés ci-dessus et être conformes aux normes du travail locales ou nationales. La plupart des programmes de protection sanitaire et de sécurité définissent différents niveaux de sécurité qui correspondent à des niveaux de risque dépendant du site considéré et de la nature des matériaux contaminés qu'il renferme. Le niveau de protection assuré aux travailleurs devrait correspondre au niveau de risque auquel ils sont exposés.

337. Les risques peuvent varier sensiblement d'un flux de déchets de POP à l'autre en fonction de la toxicité et de l'exposition. La détermination des niveaux de risque et l'évaluation de chaque situation devraient être effectuées par des professionnels de la santé et de la sécurité. Deux cas de figure, en l'occurrence, ceux des situations à haut risque et des situations présentant des risques moins élevés, sont envisagées ci-après.

1. Situations à haut risque

338. Les situations à haut risque résultent de la présence de fortes concentrations ou de volumes importants de déchets de POP et de l'existence d'un potentiel élevé d'exposition des travailleurs ou du public. Dans de telles situations, des efforts particuliers devraient être entrepris pour réduire au minimum l'exposition de ce dernier. De plus, il faudrait fournir au public des orientations destinées à le mettre au courant des risques potentiels et des mesures à prendre en cas d'exposition.

339. Des directives techniques spécifiques sur les déchets de POP identifieront les situations à haut risques pertinentes pour les POP particuliers qu'elles visent.

340. Il n'existe pas de définition internationale de ce qui constitue un volume important ou une forte concentration. Les employeurs et les employés devraient se laisser guider par les conseils et opinions des professionnels de la santé et de la sécurité, des représentants du personnel, des ouvrages spécialisés et des pouvoirs publics. Les endroits susceptibles de donner naissance à des situations à haut risque sont, entre autres, les suivants :

- a) Sites où des POP sont produits, manipulés et/ou employés ;

¹¹⁷ On pourra obtenir de plus amples informations sur la santé et la sécurité auprès de l'Organisation internationale du Travail (OIT, 1999a et 1999b), de l'Organisation mondiale de la santé (OMS, 1995 et 1999) et du PISC (IPCS INCHEM, non daté). Pour les références complètes, voir l'annexe III (Bibliographie) ci-après.

- b) Entrepôts et lieux de stockage de grands volumes de produits chimiques ou de déchets de POP ;
- c) Installations de traitement ou d'élimination de déchets de POP ;
- d) Sites contaminés par de fortes concentrations de POP en surface ou à proximité de la surface.

341. Les mesures de protection sanitaire et de sécurité à prendre dans de tels endroits devraient au minimum inclure les suivantes :

- a) Rédiger, pour chaque site, un plan de protection sanitaire et de sécurité et l'afficher sur les lieux ;
- b) Faire en sorte que les travailleurs qui ont accès au site étudient ce document et signent une déclaration confirmant qu'ils l'ont lu et compris ;
- c) Lors de l'élaboration du plan, qui peut englober tous les dangers pouvant se présenter sur le site, consacrer une section ou un chapitre aux procédures relatives aux POP ;
- d) Faire en sorte que les travailleurs ne se rendent sur le site que lorsque c'est nécessaire, pour inspecter l'installation et les produits stockés ou procéder à des opérations d'entretien ;
- e) Veiller à ce que le personnel opérant dans l'enceinte ait préalablement reçu une formation adéquate sur la protection de la santé, la sécurité et le travail dans un milieu présentant des dangers chimiques, physiques ou biologiques ;
- f) Organiser annuellement une formation en matière de santé et de sécurité ;
- g) Entreprendre des analyses systématiques de l'air pour détecter la présence de POP ;
- h) Il peut être recommandé de mettre en place des mesures de protection collective, telles qu'un système de contrôle actif de l'humidité (par exemple pour empêcher que les poussières contaminées ne s'échappent dans l'atmosphère) et des systèmes de couverture passifs (par exemple des bâches étanches et imperméables en polyéthylène renforcé à haute densité (HDPE) pour réduire la diffusion de poussières et de vapeurs) ;
- i) Le cas échéant, veiller à ce que tout travailleur pénétrant dans l'enceinte porte un masque de protection respiratoire approprié et des vêtements de protection imperméables couvrant l'ensemble du corps (combinaison avec cagoule, visière, gants et protège-chaussures, ou combinaison intégrale) ;
- j) Prévoir des nécessaires de nettoyage en cas de déversement et des équipements de décontamination individuelle dans toutes les zones contenant des POP ;
- k) Veiller à ce que les membres du personnel qui sont ou qui peuvent être tenus de se rendre régulièrement sur le site ou de travailler avec des POP fassent l'objet d'un suivi médical comportant, entre autres, un examen initial ;
- l) Lorsque des POP doivent être manipulés en système ouvert ou que l'on peut raisonnablement s'attendre à ce que les vêtements de protection des travailleurs entrent en contact avec des POP, établir une zone de décontamination permettant de retirer les équipements de protection et de se nettoyer ;
- m) Réexaminer le plan de protection sanitaire et de sécurité ainsi que les procédures générales de travail au moins une fois par an et les réviser s'il y a lieu, afin d'améliorer la sécurité et la protection sanitaire sur le site.

2. Situations à risque faible

342. Comme dans le cas des termes « volume important » ou « forte concentration », il n'existe pas de définition internationale claire de ce qui constitue un volume peu important ou une faible concentration. Ces termes doivent donc se définir par comparaison avec les chiffres donnés dans les directives gouvernementales, ou par des évaluations des risques propres à chaque site. Des situations à risque faible peuvent se rencontrer dans les endroits suivants :

- a) Les sites contenant des matières contaminées par des POP en quantités peu importantes ou peu concentrés ;
- b) Les locaux de stockage réglementé contenant de faibles quantités de POP ; et
- c) Les sites contaminés par de faibles concentrations de POP ou sur lesquels une contamination directe des personnes ne peut pas se produire.

343. Même si les risques que présentent les situations décrites ci-dessus sont peu importants, il convient de prendre des mesures de protection sanitaire et de sécurité destinées à réduire au minimum la possibilité d'une exposition. Cela comprend la formation en matière de santé et de sécurité des membres du personnel susceptibles d'entrer en contact avec des POP.

J. Intervention en cas d'urgence¹¹⁸

344. Des plans d'intervention d'urgence devraient être en place pour tous les POP en cours de production, en service, en stock, en cours de transport ou sur des sites d'élimination, en fonction de l'exposition à chaque POP particulier et des descriptifs des risques de ces substances. Les plans d'intervention d'urgence peuvent varier selon la situation ou le type de POP, mais tous comportent notamment les principaux éléments suivants :

- a) Identification de tous les dangers, risques et accidents potentiels ;
- b) Inventaire de la réglementation nationale et locale applicable aux plans d'intervention en cas d'urgence ;
- c) Planification en fonction des situations d'urgence possibles et des interventions envisageables dans chaque cas ;
- d) Tenue d'un inventaire complet et à jour de tous les POP présents sur le site ;
- e) Formation du personnel aux activités d'intervention, notamment par des exercices de simulation, ainsi qu'aux premiers secours ;
- f) Maintien de moyens d'intervention en cas de déversement ou recours aux services d'une entreprise spécialisée dans ce domaine ;
- g) Notification de l'emplacement des POP et des itinéraires de transport de ces substances aux services de lutte contre l'incendie, à la police et aux autres services publics chargés des interventions d'urgence ;
- h) Mise en place de mesures d'atténuation comme, par exemple, des extincteurs automatiques d'incendie, des installations de rétention en cas de déversement et de confinement de l'eau utilisée dans la lutte anti-incendie, des systèmes d'alarme en cas de déversement ou d'incendie, et des cloisons pare-feu ;
- i) Mise en place de systèmes de communication en cas d'urgence, notamment, signalisation des issues de secours, numéros de téléphone, emplacement des systèmes d'alarme et instructions pour les interventions en cas d'urgence ;
- j) Mise en place et maintien de nécessaires d'intervention en cas d'urgence comportant des sorbants, des équipements de protection individuelle, des extincteurs portatifs et des trousseaux de premiers secours ;
- k) Intégration des plans de l'installation aux plans d'intervention d'urgence établis aux niveaux local, régional, national ou mondial, le cas échéant ; et
- l) Vérification à intervalles réguliers du matériel d'intervention en cas d'urgence avec réexamen du plan d'intervention.

345. Les plans d'intervention en cas d'urgence devraient être établis collectivement par une équipe multidisciplinaire comprenant des spécialistes de telles interventions, des membres du personnel médical, des chimistes et des techniciens, ainsi que des représentants du personnel et de la direction. Le cas échéant, des représentants des collectivités susceptibles d'être affectées devraient également participer à leur élaboration.

K. Participation du public

346. La participation du public est un principe central de la Déclaration de Bâle de 1999 sur la gestion écologiquement rationnelle et de nombreux autres accords internationaux. Il est essentiel que le public et tous les groupes de parties prenantes aient la possibilité de participer à l'élaboration de la politique relative aux POP, à la planification des programmes, à l'élaboration de la législation, à

¹¹⁸ On trouvera des informations supplémentaires sur les plans d'intervention d'urgence dans d'autres directives élaborées par des organisations internationales, notamment le document de l'OCDE intitulé « Principes directeurs de l'OCDE pour la prévention, la préparation et l'intervention en matière d'accidents chimiques », deuxième édition (2003), et par des administrations ou organismes nationaux, régionaux ou locaux (comme les organismes de coordination de la protection civile et des interventions d'urgence et les services de lutte contre l'incendie).

l'examen des documents et données et à la prise des décisions concernant les problèmes locaux liés aux POP. Les alinéas g) et h) du paragraphe 6 de la Déclaration de Bâle reflètent un accord visant à améliorer et à renforcer les efforts et la coopération en vue de parvenir à une gestion écologiquement rationnelle en ce qui concerne l'intensification de l'échange d'informations, de la formation et de la sensibilisation de tous les secteurs de la société ainsi que de la coopération et des partenariats à tous les niveaux entre pays, pouvoirs publics, organisations internationales, monde industriel, organisations non gouvernementales et établissements d'enseignement.

347. La Convention de Stockholm, à l'alinéa d) du paragraphe 1 de son article 10, invite chaque Partie, dans la mesure de ses moyens, à favoriser et faciliter la participation du public à la prise en considération des POP et de leurs effets sur la santé et l'environnement et à la mise au point de solutions appropriées, y compris en offrant au public des possibilités de contribuer au niveau national à l'application de la Convention.

348. Conformément aux articles 6, 7, 8 et 9 de la Convention de la CEE-ONU de 1998 sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement (Convention d'Aarhus), des actions assez précises doivent être menées par les Parties en ce qui concerne la participation du public à certaines activités des pouvoirs publics, à la définition des plans, politiques et programmes et à l'élaboration de textes réglementaires ainsi que l'accès du public à la justice en matière d'environnement.

349. La participation du public à l'adoption de normes et règlements relatifs aux POP est essentielle. Tout gouvernement qui prévoit de mettre en place ou de modifier des règlements ou des politiques dans ce domaine devrait instaurer une procédure d'enquête publique ouverte à tous les individus ou groupes. Cela implique une invitation générale, via les médias et Internet, à formuler des commentaires, ou une invitation directe adressée aux individus et groupes suivants :

- a) Particuliers ayant manifesté un intérêt envers les POP ;
- b) Groupements civils locaux et, en particulier, associations locales de protection de l'environnement, pour ce qui concerne les problèmes locaux ;
- c) Groupes de personnes particulièrement vulnérables, tels que les femmes, les enfants et les personnes les moins instruites ;
- d) Groupements écologiques régionaux, nationaux ou mondiaux ;
- e) Entreprises industrielles ou commerciales concernées ;
- f) Associations commerciales ;
- g) Syndicats et associations professionnelles ;
- h) Associations d'experts ;
- i) Autres instances publiques.

350. Un processus de participation du public peut comporter plusieurs phases. Les groupes peuvent être consultés avant que des modifications ou des programmes ne soient envisagés, au cours du processus d'élaboration des politiques et après l'élaboration de chaque projet de document fixant des orientations politiques. Les avis peuvent être sollicités par contact direct, par écrit ou via un site Internet.

351. On trouvera un exemple de consultation du public au sujet de l'élaboration de plans de gestion des POP dans le document intitulé « A case study of problem solving through effective community consultation » du Department of Environmental Health d'Australie¹¹⁹.

¹¹⁹ Voir Australia Department of the Environment and Heritage, 2000.

Annex I to the technical guidelines*

International instruments

In addition to the Stockholm and Basel conventions, there are other international instruments or systems that contain provisions pertaining to POPs or POP wastes, including:

- (a) 1998 Protocol on Persistent Organic Pollutants to the UNECE 1979 Convention on Long-range Transboundary Air Pollution;
- (b) 2003 Protocol on Pollutant Release and Transfer Registers to the UNECE 1998 Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-making and Access to Justice in Environmental Matters (Aarhus Convention);
- (c) 1991 Bamako Convention on the Ban of the Import into Africa and the Control of Transboundary Movement and Management of Hazardous Wastes within Africa;
- (d) 1995 Convention to Ban the Importation into Forum Island Countries of Hazardous and Radioactive Wastes and to Control the Transboundary Movement and Management of Hazardous Wastes within the South Pacific Region (Waigani Convention);
- (e) OECD Council Decision C (2001) 107/FINAL Concerning the Control of Transboundary Movements of Wastes Destined for Recovery Operations;
- (f) Rotterdam Convention on Prior Informed Consent Procedure for Certain Hazardous Chemicals and Pesticides in International Trade (1998); and
- (g) Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS).

* Afin de réduire les coûts, les annexes à ce document n'ont pas été traduites.

Annex II to the technical guidelines

Examples of pertinent national legislation

Examples of national legislation containing provisions related to the management of POP wastes are outlined below.

Country	Legislation	Brief description
Argentina	Law 25.670/2002 and Decree 853/2007 on PCBs	<ul style="list-style-type: none"> Environmental protection for the management of PCB prohibiting the production, importation and use as well as establishing a procedure to remove functioning equipment containing it due to 2010
Argentina	Law 24.051/1992 and Decree 831/1993 on management of hazardous wastes	<ul style="list-style-type: none"> Reaches all POP wastes that are classified as hazardous waste; includes a destruction efficiency parameter for components in waste incineration
Argentina	Resolution 511/2011 from National Health Service and Food Quality (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria-SENASA).	<ul style="list-style-type: none"> Prohibits the import of the active ingredient endosulfan and its formulated products and forbids the development, formulation, marketing and use of products containing the active ingredient endosulfan
Austria	Soil Protection Acts	<ul style="list-style-type: none"> Contains stringent limit values for PCBs, PCDDs and PCDFs in sewage sludge used as fertilizer.
Brazil	Norm ABNT/NBR, N° 8371/1997	<ul style="list-style-type: none"> Procedures for handling, transport and storage of materials containing PCBs
Brazil	Resolution CETESB (São Paulo state), N° 007/1997	<ul style="list-style-type: none"> Determines limits for PCDDs and PCDFs on emissions from medical waste incinerators with capacity > 200 kg/day
Brazil	Resolution CONAMA, N° 264/1999	<ul style="list-style-type: none"> Procedures for environmental licensing of waste co-processing in cement kilns
Brazil	Resolution CONAMA, N° 313/2002	<ul style="list-style-type: none"> Provides for an inventory of PCB stocks and industrial wastes
Brazil	Resolution CONAMA, N° 316/2002	<ul style="list-style-type: none"> Procedures and criteria for operating thermal waste treatment systems, provides limits on emissions of PCDDs and PCDFs.
Brazil	Resolution CONAMA, N° 334/2003	<ul style="list-style-type: none"> Procedures for environmental licensing for establishments responsible for receiving pesticides packaging.
Brazil	Decision CETESB (São Paulo state), N° 26/2003	<ul style="list-style-type: none"> Sets limits for air emissions of PCDDs and PCDFs of cement kilns treating waste
Brazil	Resolution CONAMA, N° 357/2005	<ul style="list-style-type: none"> Provides maximum permitted levels for POPs in effluents discharged to water.
Canada	PCB Regulations	<ul style="list-style-type: none"> Restrict the manufacture, import, export and sale of PCBs and equipment containing PCBs, and prohibit PCB releases to the environment. The regulations have deadlines ending the use of PCBs and PCB equipment that have concentrations at or above 50 mg/kg along with maximum storage and destruction timelines.
China	Technical specifications for centralized incineration disposal engineering (HJ 2037)	<ul style="list-style-type: none"> Procedures for incineration of materials containing PCBs
China	Technical specification for co-processing of solid wastes in cement kilns (GB 30760)	<ul style="list-style-type: none"> Procedures for co-processing of POPs wastes in cement kilns Limitation for dioxin in cement produced by the co-processing of solid waste

Country	Legislation	Brief description
China	Guidelines for the pollution control of dioxins	<ul style="list-style-type: none"> Pollution control of dioxins on 4 key-industries
China	Standard for pollution control on: <ul style="list-style-type: none"> municipal solid wastes incineration (GB 18485) hazardous wastes incineration (GB 18484) co-processing of solid wastes in cement kilns (GB 30485) the steel smelt industry (GB 28664) sintering and pelletizing of iron and the steel industry (GB 28662) 	<ul style="list-style-type: none"> Contains standards for releases of PCDDs and PCDFs in air emissions
European Union	Regulation (EC) No 850/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on persistent organic pollutants and amending Directive 79/117/EEC (last amendment: Commission Regulation (EU) No 1342/2014)	<ul style="list-style-type: none"> Article 7 contains provisions regarding the management of wastes containing, consisting of or contaminated with POPs.
European Union	Council Directive 96/59/EC of 16 September 1996 on the disposal of polychlorinated biphenyls and polychlorinated terphenyls (PCB/PCT)	<ul style="list-style-type: none"> Contains rules regarding the disposal of PCBs and PCTs, <i>inter alia</i> on the decontamination and/or disposal of equipment and the PCBs therein.
European Union	Directive 2010/75/EU on industrial emissions (Industrial Emissions Directive, IED)	<ul style="list-style-type: none"> Annex VI, part 5, contains emission limit values for discharges of PCDD- and PCDF-contaminated wastewater from the cleaning of waste gases. Annex V contains air emission values for PCDDs and PCDFs.
European Union	Council Decision 2003/33/EC of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of, and Annex II to Directive 1999/31/EC	<ul style="list-style-type: none"> Paragraph 2.1.2.2 of the annex contains criteria for landfilling of inert waste containing PCBs.
Finland	Council of State Decision (1071/1989) on restricting the use of PCBs and PCTs	<ul style="list-style-type: none"> Contains limit values for PCBs and PCTs
Finland	Council of State Decision (101/1997) on oil waste management	<ul style="list-style-type: none"> Contains limit values for PCBs in regenerated oil and in oil wastes destined for incineration
Finland	Council of State Decision (711/1998) on the disuse of PCB appliances and the treatment of PCB waste	<ul style="list-style-type: none"> Contains limit values for PCBs
Finland	Council of State Decree (1129/2001) on a list of the most common wastes and of hazardous wastes	<ul style="list-style-type: none"> Contains limit values for PCBs
Germany	Federal Soil Protection and Contaminated Sites Ordinance	<ul style="list-style-type: none"> Contains action levels regarding sites contaminated with aldrin, DDT, HCB, HCH, PCBs, PCP, PCDDs and PCDFs.
Germany	Ordinance on Landfills and Long-Term Storage Facilities	<ul style="list-style-type: none"> Contains a limit for PCBs in soils used as reclamation layers of landfills. Prohibits the landfilling of waste that could harm public welfare due to its content of long-lived or bio-accumulable toxic substances.
Germany	Ordinance on Underground Waste Stowage	<ul style="list-style-type: none"> Contains limits for the use of waste contaminated with PCBs as stowage material.
Germany	Fertilizer Ordinance	<ul style="list-style-type: none"> Contains limits for PFOS, PCDDs and PCDFs in fertilizers
Germany	Sewage Sludge Ordinance	<ul style="list-style-type: none"> Contains limits for the usage of sewage sludge contaminated with PCBs, PCDDs and PCDFs as fertilizer.
Germany	Waste Wood Ordinance	<ul style="list-style-type: none"> Contains limits for recycling of waste wood contaminated with PCBs and PCP.
Germany	Waste Oil Ordinance	<ul style="list-style-type: none"> Contains limits for recycling of PCB-contaminated oils.
Ghana	Hazardous and Electronic Waste Control and	<ul style="list-style-type: none"> Contains elements related to the implementation of

Country	Legislation	Brief description
	Management-Act, 2016, Act 917	the Basel, Rotterdam and Stockholm Conventions, especially on all waste which include POP wastes.
Italy	Part of the Environmental Frame Law concerning waste and soil remediation (Part IV of Legislative Decree No. 152 of 3 April 2006)	<ul style="list-style-type: none"> Contains limits for the regeneration and the co-incineration of PCB/PCT contaminated oils Contains action levels regarding sites (residential, industrial commercial soil and groundwater) contaminated with aldrin, alfa, beta and gamma HCH, chlordane, dieldrin, endrin, DDT, HCB, PCBs, PCDDs and PCDFs.
Italy	Regulations for waste recovery with exemption from permit requirements (simplified administrative procedures) (Ministerial Decree 5/02/1998)	<ul style="list-style-type: none"> Contains limits for PCBs, PCTs and PCDDs in specific types of waste as conditions for exemption from permit requirements
Japan	Law Concerning Special Measures Against Dioxins	<ul style="list-style-type: none"> Contains tolerable daily intake environmental standards for ambient air, water quality (including sediment) and soil, emission and residue standards for gas, effluent, ash and dust regarding PCDDs, PCDFs and dioxin-like PCBs.
Japan	Law Concerning Special Measures for Promotion of Proper Treatment of PCB Wastes (PCB Special Measures Law)	<ul style="list-style-type: none"> Contains standards for the treatment of plastics and metals contaminated with PCBs.
Japan	Soil Contamination Countermeasures	<ul style="list-style-type: none"> Contains standards for the treatment of soil contaminated with PCBs.
Japan	Waste Management and Public Cleansing Law	<ul style="list-style-type: none"> Contains criteria of hazardous wastes containing PCBs, PCDDs, PCDFs and dioxin-like PCBs.
Japan	Water Pollution Control Law	<ul style="list-style-type: none"> Contains emission standards for effluent containing PCBs.
Mexico	Norm NOM-098 of 2004	<ul style="list-style-type: none"> Contains emission and destruction efficiency standards for waste incinerators.
Mexico	Norm NOM-133 of 2001	<ul style="list-style-type: none"> Contains regulations regarding handling of PCBs and a programme for the preparation of inventories.
New Zealand	Hazardous Substances and New Organisms Act 1996	<ul style="list-style-type: none"> Prohibits the import, manufacture, use or storage of POPs (sections 25A – 25D, Schedule 1AA, Schedule 2A).
New Zealand	National Environmental Standards for Air Quality (Resource Management (National Environmental Standards for Air Quality) Regulations 2004)	<ul style="list-style-type: none"> Contains standards banning activities discharging significant quantities of dioxins and other toxics into the air, and standards for ambient (outdoor) air quality.
Norway	Norwegian Product Regulations, Chapter 2 on Regulated substances, preparations and products.	<ul style="list-style-type: none"> Contains a ban on the production, use, import and export of PCBs, including PCB-containing capacitors.
Norway	Norwegian Waste Regulations, Chapter 14 on Discarded insulating glass units containing PCBs	<ul style="list-style-type: none"> Lays down requirements for the producers to collect and handle obsolete windows that contain PCBs.
Norway	Norwegian Pollution Regulations, Chapter 2 on Clean-up of contaminated soil	<ul style="list-style-type: none"> Contains limit values below which a soil is considered to be clean and suitable for use in sensitive areas.
Switzerland	Soil Burden Ordinance	<ul style="list-style-type: none"> Contains actions levels regarding sites contaminated with PCBs, PCDDs and PCDFs.
United States of America	EPA 40 CFR 63 Subpart EEE National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants from Hazardous Waste Combustors	<ul style="list-style-type: none"> Contains standards for releases of PCDDs and PCDFs within air emissions.
United States of America	40 CFR 268.48 Universal Treatment Standards for Hazardous Wastes	<ul style="list-style-type: none"> Contains standards for the treatment of hazardous waste prior to land disposal and aqueous waste prior to release.
United States of America	40 CFR 761.70 Standards for incineration of PCBs	<ul style="list-style-type: none"> Contains standards for air emissions when incinerating PCBs.

Annex III to the technical guidelines

Bibliography

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (United States of America), Toxicological Profile Information Sheets. Available from: www.atsdr.cdc.gov.

Ariizumi, A et al, 1997. "Dechlorination and decomposition behaviour of PCBs by the sodium dispersion process", *J. Environ. Chem.*, vol. 7, pp. 793–799.

Australia Department of the Environment and Heritage, 2000. *A Case Study of Problem Solving Through Effective Community Consultation*. Available at: <http://www.ntn.org.au/cchandbook/library/documents/problem%20solving.pdf>.

Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, 2010. *Waste-to-Energy in Austria. White Book – Figures, Data, Facts*, 2nd edition. Available at: <http://www.uvp.at/publications/whitebook/>

Borgnes.D and Rikheim.B. 2005. *Emission Measurements During Incineration of Waste Containing Bromine*. Norden, 2005. Available at: <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:702261/FULLTEXT01.pdf>

BiPRO GmbH, 2005. "Study to facilitate the implementation of certain waste related provisions of the Regulation on Persistent Organic Pollutants (POPs): Final Report for the European Commission." Brussels, Munich. Available at: http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/pops_waste_full_report.pdf

Brusselaers J., Mark F.E. and Tange L., 2006. "Using Metal-Rich WEEE Plastics as Feedstock Fuel Substitute for an Integrated Metals Smelter", Plastics Europe, Umicore and EFRA.

Canadian Council of Ministers of the Environment, 1997. *Guidance Document on the Management of Contaminated Sites in Canada*. Available from: www.ccme.ca.

Canadian Council of Ministers of the Environment, 2002. *Canadian Environmental Quality Guidelines*. Available from: www.ccme.ca.

CMPS&F – Environment Australia, 1997. *Appropriate Technologies for the Treatment of Scheduled Wastes: Review Report Number 4*. Available from: www.deh.gov.au.

Cobo, M., A. Gálvez, J. Conesa and C. Montes de Correa (2009). "Characterization of fly ash from a hazardous waste incinerator in Medellin, Colombia." *Journal of Hazardous Materials* 168: 1223-1232.

Costner, P., Luscombe D. and Simpson M., 1998. "Technical Criteria for the Destruction of Stockpiled Persistent Organic Pollutants", Greenpeace International Service Unit.

Danish Environmental Protection Agency, 2004. *Detailed review of selected non-incineration and incineration POPs Elimination Technologies for the CEE Region*. Available from: www.mst.dk/publications/.

Environment Canada, 2011. *Environmental monitoring and surveillance in support of the chemical management plan*. Available from: <http://www.ec.gc.ca>.

EPA, 1993. *Technology Alternatives for the Remediation of PCB-Contaminated Soil and Sediment*. Available from: www.epa.gov.

EPA, 2002. *RCRA Waste Sampling Draft Technical Guidance*. Available at www.epa.gov.

European Commission, 2001a. *Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industry*. Available from: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/nfm.html>.

European Commission, 2001b. *Reference Document on Best Available Techniques on the Production of Iron and Steel*. Available at: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/IS_Adopted_03_2012.pdf.

European Commission, 2003. *Reference Document on the General Principles of Monitoring*. Available from: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/mon.html>.

European Commission, 2006. *Reference Document Best Available Techniques for Waste Incineration*. Available from: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/wi.html>.

- European Commission, 2011. *Study on waste related issues of newly listed POPs and candidate POPs*. (prepared by the Expert Team to Support Waste Implementation, ESWI). Available at: http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/POP_Waste_2010.pdf.
- European Commission, 2013. Best Available Techniques (BAT). *Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide*. Joint Research Centre. Institute for prospective technological studies.
- European Commission, 2013b. Decision 2013/163/EU establishing the best available techniques (BAT) conclusions under Directive 2010/75/EU on industrial emissions for the production of cement, lime and magnesium oxide. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D0163&from=EN>
- FAO, 1996. *Pesticide Storage and Stock Control Manual*. Pesticide Disposal Series No.3. Available from: <http://www.fao.org/agriculture/crops/obsolete-pesticides/resources0/en/>.
- FAO, 2000. *Assessing Soil Contamination: A Reference Manual*. Pesticide Disposal Series No. 8. Available from: www.fao.org/agriculture/crops/obsolete-pesticides/resources0/en/.
- FAO, 2001. *Training manual for inventory taking of obsolete pesticides*. Pesticide Disposal Series No. 10. Available from: www.fao.org/agriculture/crops/obsolete-pesticides/resources0/en/.
- Federal Remediation Technology Roundtable (FRTR), 2002. Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Version 4.0. Available at: www.frtr.gov/matrix2/top_page.html.
- German Federal Environment Agency, 2014. Federation/Länder Dioxin Database, Umweltbundesamt Dessau-Roßlau. Available at: <http://www.dioxindb.de/index-e.html>.
- German Federal Environment Agency, 2015. *Identification of potentially POP-containing Wastes and Recyclates – Derivation of Limit Values*. Available at: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/identification-of-potentially-pop-containing-wastes>
- German Federal Ministry for the Environment, 2005. *Waste Incineration – A Potential Danger? Bidding Farewell to Dioxin Spouting*. Available at: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/english/pdf/application/pdf/muellverbrennung_dioxin_en.pdf.
- Global Programme of Action for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities. GPA clearing-house mechanism. Available from: <http://pops.gpa.unep.org>.
- Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS). Available from: http://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs_welcome_e.html
- Government of Canada, 2011. *Document on monitoring and research under the chemical management plan*. Available from: <http://www.chemicalsubstanceschimiques.gc.ca>.
- IATA. *Dangerous Goods Regulations (DGR)*. Available from: <http://www.iata.org/publications/dgr/Pages/index.aspx>.
- ICAO, 2013. *Technical Instructions For The Safe Transport of Dangerous Goods by Air (Doc 9284)*. Available at: <http://www.icao.int/safety/DangerousGoods/Pages/technical-instructions.aspx>.
- ILO, 1999a. *Basics of Chemical Safety*. Available from: www.ilo.org.
- ILO, 1999b. *Safety in the use of chemicals at work: Code of Practice*. Available from: www.ilo.org.
- IMO, 2002. *International Maritime Dangerous Goods Code*. Available from: www.imo.org.
- IPCS INCHEM, various dates. *Health and Safety Guides (HGSs)*. Available from: <http://www.inchem.org/pages/hsg.html>.
- JESCO (Japan Environmental Safety Corporation), 2009a. Kitakyushu PCB Waste Treatment Facility. Available at: www.jesconet.co.jp/eg/facility/kitakyushu.html.
- JESCO, 2009b. Toyota PCB Waste Treatment Facility. Available at: www.jesconet.co.jp/eg/facility/toyota.html.
- JESCO, 2009c. Osaka PCB Waste Treatment Facility. Available at: www.jesconet.co.jp/eg/facility/osaka.html.
- JESCO, 2009d. Tokyo PCB Waste Treatment Facility. Available at: www.jesconet.co.jp/eg/facility/tokyo.html.

- JESCO, 2013. Hokkaido PCB Waste Treatment Facility. Available at: www.jesconet.co.jp/eg/facility/hokkaido.html.
- Karstensen, K.H., 2001. "Disposal of obsolete pesticides in cement kilns in developing countries. Lessons learned – How to proceed", *6th International HCH & Pesticides Forum Book*, pp. 291-301. Available from: http://www.hchforum.com/6th/forum_book/.
- Karstensen, K.H. et al., 2006. "Environmentally sound destruction of obsolete pesticides in developing countries using cement kilns", *Environmental Science & Policy*, vol. 9 No. 6, pp. 577–586.
- Karstensen, K.H., 2008. *Guidelines for treatment of hazardous wastes and co-processing of AFRs in cement kilns*. Prepared for the Department for Environmental Affairs and Tourism, Republic of South Africa. Available at: <http://sawic.environment.gov.za/documents/461.pdf>.
- Karstensen, K.H. et al. 2009. "Test burn with PCB–oil in a local cement kiln in Sri Lanka", *Chemosphere*, vol. 78 No. 6, pp. 717-723.
- Kümmling, K. et al, 2001. "Gas-phase chemical reduction of hexachlorobenzene and other chlorinated compounds: Waste treatment experience and applications", *6th International HCH & Pesticides Forum Book*, pp. 271-275. Available from: http://www.hchforum.com/6th/forum_book/.
- Li, Y et al, 2012. Disposal of obsolete pesticides including DDT in a Chinese cement plant as blueprint for future environmentally sound co-processing of hazardous waste including POPs in cement industry, *Procedia Environmental Sciences*, vol. 16, pp 624-627.
- Liu, G. et al, 2016. Distributions, profiles and formation mechanisms of polychlorinated naphthalenes in cement kilns co-processing municipal waste incinerator fly ash, *Chemosphere*, vol. 155, pp 348-357.
- Ministry of the Environment of Japan, 2004. *Report on study of the treatment standards for POPs waste in fiscal year 2003*.
- Ministry of the Environment of Japan, 2013a. *Environmental Monitoring of Persistent Organic Pollutants in East Asian Countries*. Available at: www.env.go.jp/en/chemi/pops/eaaws.html, <http://www.env.go.jp/chemi/pops/3rd/mat02.pdf>
- Ministry of the Environment of Japan, 2013b. *Summary of the Guideline on the Treatment of Wastes Containing Perfluorooctane Sulfonic Acid (PFOS), and Its Salts[,] in Japan*. Available at: www.env.go.jp/en/focus/docs/files/201304-89.pdf.
- Marrone, Philip A. 2013. Supercritical water oxidation—Current status of full-scale commercial activity for waste destruction. *The Journal of Supercritical Fluids*, vol. 79, pp 283-288.
- Marrone, P.A. and Hong, J.T., 2007. "Supercritical Water Oxidation", in *Environmentally Conscious Materials and Chemicals Processing*, Myer Kutz, ed., John Wiley & Sons, Inc., pp. 385-453.,
- Mark, F.E. et al, 2015. "Destruction of the flame retardant hexabromocyclododecane in a full-scale municipal solid waste incinerator", *Waste Management & Research*, vol. 33 No. 2, pp. 165–174.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Occupational Safety and Health Administration (OSHA), U.S. Coast Guard (USCG), U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Occupational Safety and Health. October 1985. *Guidance Manual for Hazardous Waste Site Activities*. Available at: <https://www.osha.gov/Publications/complinks/OSHG-HazWaste/all-in-one.pdf>
- Noma Y., Sakai. S., Oono M., 2002. "Dechlorination pathways of PCBs by photochemical reaction and catalytic hydro-dechlorination", *Organohalogen Compounds*, vol. 56, pp. 413–416.
- Noma Y., Sakai. S., Oono M., 2003a. "Dechlorination pathways and kinetics in photochemical reaction and catalytic hydro-dechlorination", *Organohalogen Compounds*, vol. 63, pp. 276–279.
- Noma Y., Sakai. S., Oono M., 2003b. "Pathways for the degradation of PCBs by palladium-catalyzed dechlorination", *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 12 No. 3, pp. 302–308.
- Nordic Council of Ministers, 2005. *Emission Measurements During Incineration of Waste Containing Bromine*. Available from: <http://www.norden.org/en/publications/order>.
- OECD, multiple years. *OECD Series on Principles of Good Laboratory Practice and Compliance Monitoring* (multiple volumes). Available from: www.oecd.org.
- OECD, 1997. *Principles on Good Laboratory Practice* (as revised in 1997). Available from: www.oecd.org/.

- OECD, 1998. Waste Management Policy Group: “*Report on incineration of products containing brominated flame retardants*”, Environment Policy Committee. Available from: www.oecd.org.
- OECD, 2003. *Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response, second edition*. Available from: www.oecd.org.
- OECD, 2004. *Recommendation of the Council on the Environmentally Sound Management (ESM) of Waste C(2004)100*. Adopted 9 June 2004. Available from: www.oecd.org. Petrlik, J. and R. Ryder (2005). After Incineration: The Toxic Ash Problem. Prague, Manchester, IPEN Dioxin, PCBs and Waste Working Group, Arnika Association: 59; Available at: http://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen_incineration_ash-en.pdf.
- Piersol, P. 1989. *The Evaluation of Mobile and Stationary Facilities for the Destruction of PCBs*. Environment Canada Report EPS 3/HA/5, May 1989.
- Rahuman, M.S.M. et al, 2000. “Destruction Technologies for Polychlorinated Biphenyls (PCBs)”, ICS-UNIDO. Available from: https://clu-in.org/download/remed/destruct_tech.pdf
- Ray, Ian D., 2001. “Management of chlorinated wastes in Australia”, *6th International HCH & Pesticides Forum Book*, pp. 523-526. Available from: http://www.hchforum.com/6th/forum_book/.
- Sakai S., Peter. A. B. and Oono M., 2001. “PCB destruction by catalytic hydrodechlorination (CHD) and t-BuOK method: Combinatorial bio/chemical analysis”, *Organohalogen Compounds*, vol. 54, pp. 293–296.
- STAP (Scientific and Technical Advisory Panel of the Global Environment Facility), 2011. *Selection of Persistent Organic Pollutant Disposal Technology for the Global Environment Facility: A STAP Advisory Document*. Global Environment Facility, Washington, D.C.
- Stobiecki, S. et al, 2001. Disposal of pesticides as an alternative fuel in cement kiln: project outline. *6th International HCH & Pesticides Forum Book*, pp. 285-289. Available from: http://www.hchforum.com/6th/forum_book/.
- Tagashira, S. et al, 2006. “Plasma Melting Technology of PCB-contaminated Wastes”, Proceedings of the 4th International Conference on Combustion Incineration/Pyrolysis and Emission Control, September 26-29, 2006, Kyoto, Japan, pp. 519-522.
- Tagashira S., Takahashi M., Shimizu Y., Osada M., Mikata N., Yamazaki R., 2007. “Plasma Melting technology of PCB-contaminated Wastes”, *Organohalogen Compounds*, vol. 69, pp. 662-665.
- UNECE, 1998. *Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-Making and Access to Justice in Environmental Matters (Aarhus Convention)*. Available from: <http://www.unece.org/env/pp/treatytext.html>
- UNECE, 2003a. *Recommendations on the Transport of Dangerous Goods (Model Regulations)*. Available from: www.unece.org.
- UNECE, 2003b. *Protocol on Pollutant Release and Transfer Registers* (to the Aarhus Convention). Available at: <http://www.unece.org/env/pp/prtr/docs/prtrtext.html>.
- UNEP, 1993. *Storage of Hazardous Materials: A Technical Guide for Safe Warehousing of Hazardous Materials*. Available at: <http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/WEBx0063xPA-SafeWarehousing.PDF>.
- UNEP, 1995a. *Model National Legislation on the Management of Hazardous Wastes and Other Wastes as well as on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Other Wastes and their Disposal*. Available from: www.basel.int.
- UNEP, 1995b. *Technical Guidelines on Incineration on Land (D10)*. Available from: www.basel.int.
- UNEP, 1995c. *Technical Guidelines on Specially Engineered Landfill (D5)*. Available from: www.basel.int.
- UNEP, 1998. *Inventory of Worldwide PCB Destruction Capacity*. Available from: www.chem.unep.ch.
- UNEP, 2000. *Survey of Currently Available Non-Incineration PCB Destruction Technologies*. Available from: www.chem.unep.ch.
- UNEP, 2000a. *Basel technical guidelines on hazardous wastes-Physico-Chemical Treatment/Biological Treatment*. Available from: www.basel.int.

- UNEP, 2001. *Destruction and Decontamination Technologies for PCB and Other POP waste Part III. Technology Selection Process*. Available from: <http://archive.basel.int/meetings/sbc/workdoc/techdocs.html>.
- UNEP, 2002a. *Destruction and decontamination technologies for PCBs and other POP waste under the Basel Convention: A training manual for hazardous waste project managers (Volume c)*. Available from: <http://chm.pops.int/Implementation/PCBs/DocumentsPublications/tabid/665/Default.aspx>.
- UNEP, 2002b. *Report of the Technology and Economic Assessment Panel [of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer], Volume 3B: Report of the Task Force on Collection, Recovery and Storage*. Available at: http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/TEAP/Reports/Other_Task_Force/TEAP02V3b.pdf.
- UNEP, 2004a. *Review of the Emerging, Innovative Technologies for the Destruction and Decontamination of POPs and the Identification of Promising Technologies for Use in Developing Countries*. Available at: archive.basel.int/techmatters/review_pop_feb04.pdf.
- UNEP, 2004b. *POPs Technology Specification Data Sheet: Hazardous Waste Incineration*. Available at: http://www.ihpa.info/docs/library/reports/Pops/June2009/DEFSBCLogo_Inciner_180608_.pdf.
- UNEP, 2004c. *Inventory of Worldwide PCB Destruction Capacity*. Second issue. Available from: http://www.unep.org/publications/contents/pub_details_search.asp?ID=2477.
- UNEP, 2005. *UNEP/GEF project on existing capacity and capacity building needs for analyzing POPs in developing countries*. Available from: www.chem.unep.ch/pops/laboratory/default.htm.
- UNEP, 2006a. Technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with 1,1,1-trichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)ethane (DDT). Available at: <http://www.basel.int/Implementation/Publications/TechnicalGuidelines/tabid/2362/Default.aspx>.
- UNEP, 2006b. *Draft Guidance for Analysis of Persistent Organic Pollutants (POPs)*. Available at: www.chem.unep.ch/pops/laboratory/default.htm.
- UNEP, 2006c. Expert Group on Best Available Techniques and Best Environmental Practices. Second meeting. Report of the second meeting of the Expert Group on Best Available Techniques and Best Environmental Practices. Available at: <http://www.pops.int/documents/meetings/>
- UNEP, 2007. *Guidelines on best available techniques and provisional guidance on best environmental practices relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on [POPs]*. Available at: <http://chm.pops.int/Implementation/BATandBEP/Guidance/tabid/3636/Default.aspx>.
- UNEP, 2011. *Technical guidelines on the environmentally sound co-processing of hazardous wastes in cement kilns*. UNEP/CHW.10/6/Add.3/Rev.1. Available at: <http://www.basel.int/Implementation/Publications/TechnicalGuidelines/tabid/2362/Default.aspx>.
- UNEP, 2014. *Guidance for Developing a National Implementation Plan for the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants* (updated in 2014 to include the POPs listed in 2009 and 2011). Available at: <http://chm.pops.int/Implementation/NIPs/Guidance/GuidanceforDevelopingNIP/tabid/3166/Default.aspx>.
- UNEP, UNIDO et al., 2012. *Labelling of products or articles that contain POPs – Initial Considerations*. Available at: https://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Environmental_Management/Stockholm_Convention/Guidance_Docs/UNEP-POPS-GUID-NIP-2012-LabellingConsiderations.En.pdf.
- UNEP, 2013a. Framework for the environmentally sound management of hazardous wastes and other wastes. UNEP/CHW.11/3/Add.1/Rev.1. Available at: <http://www.basel.int/Implementation/CountryLedInitiative/EnvironmentallySoundManagement/ESMFframework/tabid/3616/Default.aspx>.
- UNEP, 2013b. *Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs under Article 5 of the Stockholm Convention*. Available at: <http://chm.pops.int/Implementation/UnintentionalPOPs/ToolkitforUnintentionalPOPs/Overview/tabid/372/Default.aspx>.
- UNEP, 2015a. *Guidance for a Global Monitoring Programme for Persistent Organic Pollutants*, UNEP Chemicals. Available at: www.chem.unep.ch/gmn/GuidanceGPM.pdf.

UNEP, 2015b. *Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with hexabromodiphenyl ether and heptabromodiphenyl ether, or tetrabromodiphenyl ether and pentabromodiphenyl ether.*

UNEP, 2015c. *Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with hexabromocyclododecane.*

UNEP, 2015d. *Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride.*

UNEP, 2015h. *Manual for the Implementation of the Basel Convention.* Available from: www.basel.int.

UNEP, 2015i. *Basel Convention: Guide to the Control System.* Available from: www.basel.int.

UNEP, 2015j. *Methodological guide for the development of inventories of hazardous wastes and other wastes under the Basel Convention.* Available from: www.basel.int.

UNEP, 2017a. *Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with polychlorinated biphenyls, polychlorinated terphenyls, polychlorinated naphthalenes or polybrominated biphenyls including hexabromobiphenyl.*

UNEP, 2017b. *Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with the pesticides aldrin, alpha hexachlorocyclohexane, beta hexachlorocyclohexane, chlordane, chlordane, chlordane, dieldrin, endrin, heptachlor, hexachlorobenzene, hexachlorobutadiene, lindane, mirex, pentachlorobenzene, pentachlorophenol and its salts, perfluorooctane sulfonic acid, technical endosulfan and its related isomers or toxaphene or with hexachlorobenzene as an industrial chemical.*

UNEP, 2017c. *Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes containing or contaminated with unintentionally produced polychlorinated dibenzo-p-dioxins, polychlorinated dibenzofurans, hexachlorobenzene, polychlorinated biphenyls, pentachlorobenzene or polychlorinated naphthalenes.*

UNEP, 2017d. *Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with hexachlorobutadiene.*

UNEP, 2017e. *Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with pentachlorophenol and its salts and esters.*

UNIDO, 2007. *Non-combustion Technologies for POPs Destruction: Review and Evaluation.* Available at: <https://institute.unido.org/wp-content/uploads/2014/11/23.-Non-combustion-Technologies-for-POPs-Destruction-Review-and-Evaluation.pdf>.

UNIDO, 2010. *Persistent organic pollutants: contaminated site investigation and management toolkit.* Available from: <http://www.unido.org/index.php?id=1001169>.

United States Army Corps of Engineers, 2003. *Safety and Health Aspects of HTRW Remediation Technologies: Engineer Manual.* Available at: http://140.194.76.129/publications/engine-manuals/EM_1110-1-4007_sec/EM_1110-1-4007.pdf

Juergen Vehlow, et al: "Recycling of bromine from plastics containing brominated flame retardants in state-of-the-art combustion facilities", Forschungszentrum Karlsruhe, Plastics Europe & EBFRIP, 2002. Available at: <http://www.cefic-efra.com/images/stories/IMG-BROCHURE-2.4/Tamara.pdf>

Vijgen, J., 2002. "NATO/CCMS Pilot Study: Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment of Contaminated Land and Groundwater." Available at: <https://www.clu-in.org/download/partner/2001annualreport.pdf>.

Weber, Roland, 2004. "Relevance of PCDD/PCDF Formation for the Evaluation of POPs Destruction Technologies – Necessity and Current Status", *Organohalogen Compounds*, vol. 66, pp. 1282–1288.

Weber, R., M. Schlumpf, T. Nakano and J. Vijgen (2015). "The need for better management and control of POPs stockpiles." *Environmental Science and Pollution Research* **22**(19): 14385-14390.

WHO, 1995. *Global Strategy on Occupational Health for All: The Way to Health at Work.* Available at: http://www.who.int/occupational_health/globstrategy/en/.

WHO International Programme on Chemical Safety, 1995. *A Review of the Persistent Organic Pollutants – An Assessment Report on: DDT, Aldrin, Dieldrin, Endrin, Chlordane, Heptachlor, Hexachlorobenzene, Mirex, Toxaphene, Polychlorinated Biphenyls, Dioxins and Furans*. Available at: <http://www.pops.int/documents/background/assessreport/>.

WHO, 1999. *Teacher's guide on basic environmental health*. Available from: http://www.who.int/occupational_health/publications/tgbeh/en/.

WHO, 2009. *Handbook: Good Laboratory Practice (GLP) – Quality practices for regulated non-clinical research and development*. Available at: <http://www.who.int/tdr/publications/documents/glp-handbook.pdf>.

Yamamoto, T., Noma, Y., and Sakai, S. (2016). "Thermal destruction of wastes containing polychlorinated naphthalenes in an industrial waste incinerator". *Environmental Science and Pollution Research*, pp. 1-9.

Yan, D., Peng, Z., Karstensen, KH., Ding, Q., Wang, K., and Wang, Z. (2014). "Destruction of DDT wastes in two preheater/precalciner cement kilns in China", *Science of the Total Environment*, vol. 476-477, pp. 250-257.
