

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Dernière mise à jour : 19/06/2008

RESPONSABLE DU PROGRAMME

J.-M. BRIGNON : jean-marc.brignon@ineris.fr

EXPERT AYANT PARTICIPE A LA REDACTION

A. GOUZY : aurelien.gouzy@ineris.fr, J.M. BRIGNON

Veillez citer ce document de la manière suivante :

INERIS, 2008. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : MERCURE ET SES PRINCIPAUX COMPOSES, 112 p. (<http://rsde.ineris.fr/>)

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

SOMMAIRE

1.	GÉNÉRALITÉS	7
1.1	DÉFINITION ET CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES	7
1.1.1	<i>Caractéristiques chimiques</i>	7
1.1.2	<i>Toxicité de la substance</i>	10
1.2	RÉGLEMENTATIONS.....	11
1.2.1	<i>Classification</i>	13
1.2.2	<i>Valeurs sanitaires et environnementales</i>	15
1.2.3	<i>Textes législatifs de référence</i>	16
1.2.3.1	Étiquetage	16
1.2.3.2	Nomenclature Installations Classées (IC).....	16
1.2.3.3	Piles et accumulateurs	17
1.2.3.4	Équipements électriques et électroniques.....	17
1.2.3.5	Emballages.....	18
1.2.3.6	Vente de substances dangereuses	18
1.2.3.7	Vente de produits phytosanitaires	19
1.2.3.8	Vente de biocides.....	19
1.2.3.9	Exportation et importation de substances chimiques dangereuses	19
1.2.3.10	Sûreté des jouets	19
1.2.3.11	Cosmétiques	20
1.2.3.12	Dispositifs de mesures	20
1.2.4	<i>Législation française vis à vis des émissions et de la présence dans l'environnement</i>	21
1.2.4.1	Grandes installations de combustion (GIC)	21
1.2.4.2	Installations effectuant de l'électrolyse des chlorures alcalins.....	21
1.2.4.3	Incinération de déchets	21
1.2.4.4	Autres installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)	22
1.2.5	<i>Législation communautaire vis à vis des émissions et de la présence dans l'environnement</i>	23
1.2.5.1	Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC)	23
1.2.5.2	Rejets dans les eaux	24

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

1.2.5.3	Protection des eaux.....	24
1.2.5.4	Protection des eaux souterraines.....	25
1.2.5.5	Protection de la santé et protection des travailleurs.....	26
1.2.5.6	Air ambiant.....	26
1.2.6	<i>Mesure et contrôle</i>	26
1.2.7	<i>Déchets et recyclage</i>	27
1.2.7.1	Piles et batteries.....	27
1.2.7.2	Véhicules en fin de vie.....	27
1.2.7.3	Déchets spéciaux.....	27
1.2.7.4	Amalgames dentaires.....	28
1.2.7.5	Mise en décharge.....	28
1.2.7.6	Épandage de boues.....	29
1.2.8	<i>Consommation humaine</i>	29
1.2.8.1	Contamination des poissons destinés à l'alimentation.....	29
1.2.8.2	Qualité des eaux en zone conchylicoles.....	30
2.	PRODUCTION ET UTILISATIONS	30
2.1	PRODUCTION ET VENTE.....	30
2.1.1	<i>Production primaire à partir de cinabre</i>	30
2.1.2	<i>Production primaire à partir de minerais d'autres métaux</i>	32
2.1.3	<i>Production secondaire et recyclage</i>	32
2.1.4	<i>Vente</i>	34
2.2	UTILISATIONS.....	34
2.2.1	<i>Données générales</i>	34
2.2.2	<i>Industrie du chlore</i>	36
2.2.2.1	Utilisation du mercure par l'industrie du chlore.....	36
2.2.2.2	Devenir du mercure provenant des sites de fabrication du chlore.....	38
2.2.2.3	Pollutions historiques liées à l'exploitation de la filière « mercure »	40
2.2.3	<i>Amalgames dentaires</i>	40
2.2.3.1	Utilisation du mercure par les chirurgiens dentistes.....	40
2.2.4	<i>Appareils scientifiques</i>	41
2.3	EMISSIONS NON-INTENTIONNELLES.....	41
2.3.1	<i>Grande Installation de Combustion (GIC)</i>	41
2.3.2	<i>Industrie du ciment</i>	42

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

2.3.3	<i>Production de chaux</i>	42
2.3.4	<i>Production de métaux non ferreux</i>	42
3.	REJETS ET PRÉSENCE DANS L'ENVIRONNEMENT	43
3.1	PRÉSENCE DANS L'ENVIRONNEMENT	44
3.1.1	<i>Forme chimique dans l'environnement</i>	44
3.1.2	<i>Présence dans l'air</i>	45
3.1.3	<i>Devenir des rejets dans l'air</i>	46
3.1.4	<i>Présence dans l'eau</i>	48
3.1.5	<i>Présence dans les roches</i>	49
3.1.6	<i>Evolution temporelle des rejets européens dans les eaux de surface</i> .	50
3.1.7	<i>Présence dans les sédiments marins</i>	50
3.1.8	<i>Présence dans les sols</i>	51
3.1.9	<i>Flux depuis les sols</i>	53
3.1.10	<i>Flux vers les eaux superficielles</i>	53
	REJETS NATURELS	54
3.3	PRINCIPALES SOURCES DE REJETS ANTHROPIQUES	54
3.4	REJETS ANTHROPIQUES DANS L'AIR	57
3.4.1	<i>Rejets dans l'air en France</i>	57
3.4.2	<i>Rejets de l'industrie dans l'air en Europe</i>	59
3.4.3	<i>Rejets de l'industrie dans l'air en France</i>	60
3.5	REJETS ANTHROPIQUES DANS L'EAU	68
3.5.1	<i>Rejets industriels dans l'eau en Europe</i>	68
3.5.2	<i>Rejets industriels en France</i>	69
3.6	REJETS ANTHROPIQUES DANS LES SOLS	74
3.6.1	<i>Observations dans la végétation</i>	74
3.7	REJETS LIÉS À L'UTILISATION DE PRODUITS	74
3.8	POLLUTIONS HISTORIQUES	75
4.	POSSIBILITES DE REDUCTION DES REJETS	77
4.1	RÉDUCTION DE CONSOMMATION DE MATIÈRES PREMIÈRES ET DE PRODUITS	77
4.1.1	<i>Choix, utilisation et traitement des matières premières</i>	77
4.1.2	<i>Exploitations artisanales de métaux précieux</i>	78
4.1.3	<i>Réduction de la Production d'électricité</i>	78
4.2	GESTION DES DÉCHETS	79

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

4.2.1	<i>Campagnes de collectes exceptionnelles</i>	79
4.2.2	<i>Accroissement du recyclage des piles et batteries</i>	79
4.2.3	<i>Stockage et destruction des véhicules en fin de vie</i>	80
4.2.4	<i>Application en dentisterie du mercure</i>	80
4.2.5	<i>Mise en décharge « sauvage »</i>	80
4.3	PRODUITS ET PROCÉDÉS DE SUBSTITUTION	80
4.3.1	<i>Industrie du chlore – Minimisation des rejets des installations à cellule à mercure</i>	81
4.3.2	<i>Industrie du chlore – remplacement des installations à cellules à mercure</i>	83
4.3.3	<i>Substitution des combustibles</i>	83
4.3.4	<i>Alternatives à l'utilisation de tubes fluorescents</i>	83
4.4	RÉDUCTION DES ÉMISSIONS PAR LA MISE EN ŒUVRE DE TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT DES REJETS	84
4.4.1	<i>Comparatif des techniques pour les effluents aqueux</i>	84
4.4.1.1	Préchloration	85
4.4.1.2	Coagulation, floculation, décantation.....	85
4.4.1.3	Echangeur d'ions.....	86
4.4.1.4	Filtres à charbon actif	86
4.4.1.5	Filtration par membrane	87
4.4.1.6	Autres techniques innovantes	87
4.4.1.6.1	Traitement biologique.....	87
4.4.1.6.2	Purification par chélation.....	87
4.4.1.6.3	Nanotechnologie	88
4.4.1.6.4	Phytoremédiation	88
4.4.1.6.5	Air stripping	88
4.4.2	<i>Techniques spécifiques aux effluents gazeux</i>	88
4.4.2.1	Techniques de traitement des effluents gazeux des grandes installations de combustion	89
4.4.2.2	Techniques de traitement des effluents gazeux dans l'industrie du chlore	91
4.4.2.3	Techniques de traitement des effluents gazeux dans l'industrie des métaux non-ferreux.....	91
4.4.3	<i>Techniques spécifiques aux effluents gazeux des centres d'incinération des déchets</i>	93

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

4.4.4	<i>Techniques spécifiques aux effluents gazeux des centrales à charbon</i>	94
4.4.4.1	Techniques actuelles.....	94
4.4.4.2	Technologies émergentes	95
4.5	AUTRES TRAITEMENTS ENVISAGEABLES	96
4.5.1	<i>Bioremédiation</i>	96
4.5.2	<i>Désorption et lixiviation</i>	96
4.5.3	<i>Exemple du traitement du site METALEUROP</i>	96
5.	ASPECTS ÉCONOMIQUES	97
5.1	PLACE DE LA SUBSTANCE DANS L'ÉCONOMIE FRANÇAISE	97
5.2	COÛT DU TRAITEMENT DES DÉCHETS ET DES BOUES CONTENANT DU MERCURE ..	97
5.3	COÛT ÉCONOMIQUE DES MESURES PRISES EN DENTISTERIE.....	98
5.4	COÛT DE L'IMPACT SUR LA SANTÉ HUMAINE DES ÉMISSIONS	98
5.5	IMPACT ÉCONOMIQUE DES MESURES DE RÉDUCTION	98
5.5.1	<i>Industrie du chlore</i>	98
5.5.2	<i>Grandes installations de combustion</i>	99
5.5.3	<i>Lampes fluorescentes</i>	99
5.5.4	<i>Interrupteurs électriques</i>	99
6	CONCLUSIONS	100
7	RÉFÉRENCES	102
7.1	ENTREPRISES, ORGANISMES ET EXPERTS INTERROGÉS	102
7.2	SITES INTERNET CONSULTÉS.....	102
7.3	BIBLIOGRAPHIE	104
8	ANNEXE 1 : EMISSIONS DE MERCURE PAR LES INDUSTRIELS DU CHLORE	109

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

1. GENERALITES

Une bibliographie importante est disponible sur le mercure et ses principaux composés. Afin de ne pas alourdir cette fiche à l'excès, nous n'avons présenté ici que les références les plus significatives. Ce document ne se veut donc en aucun cas exhaustif mais indicatif des aspects technico-économiques de la substance mercure.

1.1 Définition et caractéristiques principales

1.1.1 Caractéristiques chimiques

Le mercure (Hg) est le seul métal liquide à température ordinaire. Cet élément se présente généralement sous forme d'un liquide blanc argenté, brillant et très dense (INRS, 1997).

Les principales caractéristiques physiques du mercure (élément) sont les suivantes :

- ♦ masse molaire 200,59 g.mol⁻¹ ;
- ♦ point de fusion -38,9°C ;
- ♦ tension de vapeur 0,16 Pa à 20°C ;
- ♦ densité 13,55 ;
- ♦ pratiquement insoluble dans l'eau et les solvants usuels. La connaissance de la spéciation du mercure permettrait de mieux mesurer l'impact et le risque environnemental de cet élément. En effet, selon « l'espèce » considérée la bio - disponibilité, la toxicologie et la mobilité du mercure sont différentes¹.

¹ L'étude de la spéciation du mercure a montré que ses formes naturelles sont très diverses et la toxicologie en a évalué les toxicités individuelles : la forme organique du mercure (méthylmercure) est particulièrement dangereuse pour l'homme

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Il existe de nombreux composés mercurieux mais le suivi réglementaire des rejets de mercure dans l'environnement n'inclut pas d'obligation quant à des mesures des espèces rejetées. Ainsi, extrêmement peu de données sont disponibles sur le sujet. Dans la suite de ce document nous raisonnerons donc en termes de concentration totale de mercure.

Cette fiche considère principalement le mercure inorganique (c'est-à-dire le mercure sous forme élémentaire ou sous forme de composés inorganiques). Les composés mercuriels² fréquemment rencontrés dans l'industrie (oxyde, chlorure, sulfate et sulfure) sont particulièrement pris en compte. Les composés organomercuriels (mercure organique) dans lesquels le mercure est directement lié à un atome de carbone par une liaison covalente sont extrêmement rarement utilisés de façon industrielle (INRS, 1997).

Le tableau 1.1 synthétise l'identification et la caractérisation du mercure et de ses principaux composés.

² Mercuriel est un terme générique signifiant « qui contient du mercure ». Plus précisément, un ion mercurieux correspond aux dimère du mercure (ion mercure (I)) comme Hg_2^{2+} , Hg_2SO_4 , ... L'ion mercurique correspond à la forme ionique 2+ (ion mercure (II)) comme dans Hg^{2+} , HgO , HgSO_3 , HgI^+ , HgI_2 , HgI^{3-} , HgI_4^{2-} , ...

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Tableau 1.1. Caractéristiques du mercure et de ses principaux composés.

Substance chimique	N° CAS	N° EINECS	Synonymes	Forme physique (*)
Mercure (Hg) Mercure élémentaire	7439-97-6	231-106-7	Mercury Quecksilver	Liquide
Oxyde mercurique³ (HgO) Mercure inorganique	21908-53-2	244-654-7	Oxyde de mercure (II) Oxyde de mercure Monoxyde de mercure	Poudre cristalline lourde jaune, orange ou rouge
Chlorure mercurique (HgCl₂) Mercure inorganique	7487-94-7	231-299-8	Dichlorure de mercure ; Chlorure de mercure (II)	Cristaux blancs ou poudre
Chlorure mercurique (HgCl) Mercure inorganique	10112-91-1	233-307-5	Mercurous chloride Mercury(I) chloride	Solide cristallisé
Sulfate mercurique (HgSO₄) Mercure inorganique	7783-35-9	231-992-5	Sulfate de mercure	Poudre cristalline blanche
Sulfure mercurique (HgS) Mercure inorganique	1344-48-5	215-696-3	Sulfure de mercure Cinabre	Solide cristallisé
Méthylmercure (CH₃Hg) Mercure organique	22967-92-6	-	Methylmercury	N'existe pas à l'état libre
Chlorure de Méthylmercure (CH₃HgCl) Mercure organique	115-09-3	-	Chloromethylmercury ; Methylmercuric Chloride ; Monomethylmercury Chloride	Solide cristallisé
Méthylmercure Dicyandiamide (CH₃HgDCD) Mercure organique	502-39-6	-	Cyano(methylmercury) guanidine ; Methylmercuric cyanoguanidine ; Methylmercuric dicvandiamide	Solide cristallisé

(*) dans les conditions ambiantes habituelles

Le mercure élémentaire est quasiment insoluble dans l'eau. Cependant, la solubilité des composés organiques est variable, tous sont plus ou moins solubles. La solubilité des composés du mercure inorganique est très variable : des composés comme le chlorure mercurique sont solubles, le sulfure mercurique est complètement insoluble (INERIS, 2005).

³ Ce composé est fortement soluble dans l'eau : 69 g.L⁻¹ (Croner ; 1999).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Le sulfure mercurique (ou cinabre) est le principal constituant des minerais du métal (INRS, 1997). Les minerais exploités contiennent de 0,5 à 5% de Hg selon Vignes *et al.* (1997) et de 0,1 à 3% d'après le bREF sur les métaux non ferreux⁴.

1.1.2 Toxicité de la substance

Entre autres sources bibliographiques, une compilation bibliographique des données et/ou limites toxicologiques et écotoxicologiques est par exemple disponible sur Internet sur le site de l'INERIS (<http://www.ineris.fr> ; Rubrique *Etudes et Recherches / Fiches toxicologiques*).

La toxicité du mercure dépend de la forme et de la concentration de ce dernier ainsi que de la voie d'exposition (inhalation, ingestion ou exposition cutanée). Selon Environnement Canada (<http://www.ec.gc.ca/MERCURY/EH/FR/eh-hc.cfm>), le mercure élémentaire peut agir sur le système nerveux (tremblement, amnésie, céphalée). D'autres symptômes sont également observés comme par exemple, des bronchites, une perte de poids, une fatigue, des douleurs gastro-intestinales, des gingivites, une certaine excitabilité, une hypertrophie de la thyroïde, une instabilité du pouls, ...

L'exposition au mercure inorganique peut avoir une incidence sur les reins. On peut également observer des tremblements, une perte de coordination, un ralentissement des réponses mentales et physiques, des douleurs gastriques, des vomissements, des diarrhées sanglantes et des gingivites.

Parmi les composés organiques du mercure, le méthylmercure occupe une place particulière dans la mesure où des populations importantes y sont exposées et où sa toxicité est mieux caractérisée que dans le cas d'autres composés organiques du mercure. Le mercure est très toxique et facilement bioaccumulable sous sa forme méthylée. Le méthylmercure (MeHg) est en effet facilement absorbé et difficilement excrété par les organismes vivants. Ainsi, bien que le mercure (Hg) soit présent dans de nombreux aliments, la source d'exposition majeure au MeHg pour l'homme est la consommation de poissons chez lesquels le mercure est essentiellement sous forme de MeHg.

D'après Environnement Canada, les symptômes de l'empoisonnement aux composés organiques du mercure, et en particulier pour le méthylmercure, connus sous le nom de la maladie de « Minamata », vont du picotement sur la peau à la mort en fonction de l'exposition. Récemment des effets indésirables sur les systèmes immunitaires et cardiovasculaires ont été découverts pour une exposition à de faibles concentrations de mercure organique. L'agence pour la protection de l'environnement aux Etats-Unis (US-EPA) a classé cette substance comme étant potentiellement cancérigène.

⁴ BREF Industrie des métaux non ferreux, 2001 (http://aida.ineris.fr/bref/bref_cadres.htm).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

1.2 Réglementations

D'après Marlière (2003) modifié, le tableau 1.2 regroupe les principales réglementations européennes touchant le mercure.

Tableau 1.2. Principales réglementations européennes visant le mercure (d'après Marlière, 2003 mis à jour ; les cellules grisées repèrent les textes réglementaires repris ci-après).

Eaux	Autres pollutions (atmosphère, déchets,...)	Usages et divers
Dir. 75/440/CEE du 16/06/75 Mod. Dir. 79/869 Eaux superficielles destinées à l'eau alimentaire	Dir. 84/360/CEE du 28/06/84 Lutte contre la pollution atmosphérique d'origine industrielle	Dir. 2002/95/CEE du 27/01/03 Dir. 2002/96/CEE du 27/01/03 Équipement électrique et électronique
Dir. 76/160/CEE du 8/12/75 Eaux de baignade	Dir. 89/369/CEE du 8/06/89 Prévention des pollutions atmosphériques des incinérateurs de déchets	Dir. 79/117/CEE du 21/12/78 Dir. 91/188/CEE du 19/03/91 Dir. 98/8/CEE du 16/02/98 Vente et l'utilisation de produits phytosanitaires et biocides
Dir 2006/11/CE du 15/2 2006 Pollution aquatique	Dir. 91/689/CEE du 12/12/91 Production déchets toxiques dangereux	Dir. 76/768/CEE du 27/07/76 Produits cosmétiques
Dir. 78/659/CEE du 18/07/78 Eaux douces	Reg CE 1013/2006 du 14/06/2006 Mod 1379/2007 du 26/11/2007 Surveillance des transferts des déchets dangereux	Dir. 89/677/CEE du 21/12/89 Diverses utilisations industrielles (coques, bois...)
Dir. 80/68/CEE du 17/12/79 Eaux souterraines	Dir. 86/279/CEE du 12/06/86 Surveillance des transferts des déchets dangereux	Dir 2006/66/CE du Piles et accumulateurs
Dir. 98/83/CE du 3/11/98 Eaux consommation humaine	Dir. 2000/76/CEE Incinération de déchets	Dir. 86/278/CEE du 12/06/86 Utilisation des boues d'épuration
Dir 2006/113/CE du 12/12/2006 Eaux conchylicoles	Dir. 96/61/CE du 24/09/96 Prévention des pollutions (IPPC)	Dir. 98/24/CEE du 7/04/98 et Dir. 88/642/CEE du 16/12/88 Protection des travailleurs

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Eaux	Autres pollutions (atmosphère, déchets,...)	Usages et divers
Dir. 82/883/CEE du 3/12/82 Rejets industriels (dioxyde de titane)	Proposition de Directive Com/98/415 Installations de combustion	Dir. 94/62/CEE du 20/12/94 Emballages et aux déchets d'emballages
Dir. 82/176/CEE du 22/03/82 Mod. Dir. 90/656 Dir. 91/692 Rejets industriels électrolyse	Proposition de Directive Com/99/125/1 Plafonds de polluants atmosphériques (NEC)	Dir. 98/34/CE du 22/06/98 et Dir. 98/34/CE du 22/06/98 Informations diverses
Dir. 84/156/CEE du 8/03/84 Mod. Dir. 90/656 et Dir. 91/692 Autres rejets industriels	Proposition de décision Com/99/190/4 Fabrication de chlore	Dir. 99/29/CEE du 22/04/99 Aliments des animaux
Dir. 80/68/CEE Dir. 2000/60/CEE Dir 2006/118/CE du 12/12/2006 Protection des eaux souterraines	Proposition de décision Com/2000/177 Pollution métaux lourds	Dir. 86/280/CEE du 12/06/86 Mod. Dir. 90/656 et Dir. 91/692 Substances dangereuses
Dir. n° 2000/60/CEE du 23/10/2000 Dir. 2001/2455/CEE Protection de l'eau (DCE)	Dir. 2000/479/CEE du 17/07/00 Mesures et contrôles (EPER)	Dir. 88/378/CEE du 03/05/88 Sûreté des jouets
	Dir. 96/62/CEE du 27/09/96 Dir. 2004/107/CEE du 15/12/04 Protection de l'air	Rég. 304/2003/CEE du 28/01/03 Mod. 1376/2007 du 23/11/2007 Exportation et Importation
	Reg. 466/2001 du 08/03/01 Rég. 221/2002 du 06/02/02 Contamination des poissons	Dir. 200/53/CEE du 18/09/00 Véhicules en fin de vie
	Dir. 99/31/CEE du 26/04/99 Dir. 2003/33/CEE du 19/12/02 Mise en décharge	Dir 2007/51/CE du 25/09/2007 Dispositifs de mesure contenant du Hg
		Dir. 2000/532/CEE du 03/05/02 Dir. 94/3/CEE Déchets spéciaux

De plus, le mercure est inscrit dans la circulaire du 13 juillet 2004 relative aux Installations classées « Stratégie de maîtrise et de réduction des émissions atmosphériques toxiques pour la santé » (disponible par internet sur le site Aida). Cette circulaire fixe des objectifs globaux nationaux déterminés à partir d'estimations quantitatives qui se basent sur les connaissances actuelles et sur la

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

mise en œuvre des dispositions réglementaires en vigueur. Néanmoins, les actions de réduction des émissions dans l'eau ne relèvent pas de cette stratégie mais des dispositions de la directive 2000/60/CE du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Dans ce cadre, des objectifs de réduction ou d'élimination sont fixés afin d'obtenir un bon état des eaux d'ici 2015.

D'une manière plus générale, sur le mercure, la Commission européenne a publié, le 28 janvier 2005, une communication expliquant sa stratégie (Commission européenne, 2005a). Les buts de la Commission sont de :

- réduire les émissions de mercure ;
- réduire la mise en circulation du mercure dans la société en jugulant l'offre et la demande ;
- déterminer le devenir à long terme des excédents de mercure et des réservoirs de mercure de la société (produits encore en usage ou stockés contenant du mercure) ;
- prévenir l'exposition au mercure ;
- améliorer la compréhension de la problématique du mercure et de ses solutions ;
- soutenir et encourager les initiatives internationales dans le domaine du mercure.

Les paragraphes suivants présenteront les principaux textes (français et européens) ayant trait au mercure ainsi qu'à ses composés minéraux.

1.2.1 Classification

Toutes les indications de danger, phrases de risque et conseils de prudence présentés dans le cadre de cette rubrique sont issus du site internet de l'ICSCs (programme international sur la sécurité des substances chimiques). La signification de ces différents codes est indiquée à la fin du paragraphe.

- Mercure élémentaire (Hg)
Indications de danger : T, N
Phrases de risque : R 23 - 33 - 50/53
Conseils de prudence : S1/2 - 7 - 45 - 60 - 61
- Oxyde mercurique (HgO)
Indications de danger : T+, N
Phrases de risque : R 26/27/28- 33 - 50/53
Conseils de prudence : S1/2 - 13 - 28 - 45 - 60 - 61

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

- Chlorure mercurique (HgCl_2)
Indications de danger : T+, N
Phrases de risque : R 28 - 34 - 48/24/25 – 50/53
Conseils de prudence : S1/2 - 36/37/39 - 45 - 60 - 61
- Sulfate mercurique (HgSO_4)
Indications de danger : T+, N
Phrases de risque : R 26/27/28 - 33 - 50/53
Conseils de prudence : S 1/2 - 13 - 28 - 45 - 60 - 61
- Sulfure mercurique (HgS)
Informations non disponibles.

T : Toxique ;

T+ : Très toxique ;

N : Dangereux pour l'environnement.

R23 Toxique par inhalation ;

R26/27/28 Très toxique par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion ;

R28 Très toxique en cas d'ingestion ;

R33 Danger d'effets cumulatifs ;

R34 Provoque des brûlures ;

R48/24/25 Toxique : risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par contact avec la peau et par ingestion ;

R50/53 Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.

S1/2 Conserver sous clé et hors de portée des enfants ;

S7 Conserver le récipient bien fermé ;

S13 Conserver à l'écart des aliments et boissons y compris ceux pour animaux ;

S28 Après contact avec la peau, se laver immédiatement et abondamment avec... (produits appropriés à indiquer par le fabricant) ;

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

S36/37/39 Porter un vêtement de protection approprié, des gants et un appareil de protection des yeux / du visage ;

S45 En cas d'accident ou de malaise consulter immédiatement un médecin (si possible lui montrer l'étiquette) ;

S60 Éliminer le produit et son récipient comme un déchet dangereux ;

S61 Éviter le rejet dans l'environnement. Consulter les instructions spéciales / la fiche de données de sécurité.

1.2.2 Valeurs sanitaires et environnementales

Un exemple de compilation de ces valeurs est disponible sur Internet sur le site de l'INERIS (<http://www.ineris.fr> ; rubrique Etudes et Recherches / Fiches toxicologiques).

- Valeurs utilisées en milieu de travail - France

Notes documentaires INRS ED 984 (2006) "Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France" et ND 2190-191-03 "Indices biologiques d'exposition".

- ♦ Air (Circulaire du Ministère chargé du Travail du 19 juillet 1982) :

Mercure (vapeur) : VME⁵ : 0,05 mg.m⁻³ ;

Mercure (composés alkylés), en Hg : VME : 0,01 mg.m⁻³ ;

Mercure (composés arylés et inorganiques en Hg) : VME : 0,1 mg.m⁻³.

- ♦ Indices biologiques d'exposition :

Mercure : 15 µg.L⁻¹ (sang).

- Valeurs utilisées pour la population générale

- ♦ Qualité des eaux de consommation :

⁵ VME : valeurs moyennes d'exposition.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

France, Décret n° 2001 - 1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine (à l'exclusion des eaux minérales naturelles) et directive européenne 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine :

Mercurure 1,0 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$;

Cette valeur est reprise par l'OMS au sein de ses « directives de qualité pour l'eau de boisson » (2004).

♦ Qualité de l'air :

Valeur « à ne pas dépasser » recommandée par l'OMS (2000)

1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (moyenne annuelle pour les vapeurs de mercure inorganique).

1.2.3 Textes législatifs de référence

1.2.3.1 Étiquetage

En France les substances chimiques contenant du mercure ou des composés de mercure sont régies par l'arrêté du 9 novembre 2004, modifié par l'arrêté du 7 février 2007 définissant les critères de classification et les conditions d'étiquetage et d'emballage des préparations dangereuses. Ce texte transpose en droit français la directive 1999/45/CE du Parlement européen et du Conseil du 31 mai 1999, modifié par la directive 2006/8/CE de la commission du 23 janvier 2006.

D'autre part, le décret 99-374 du 12 mai 1999 relatif à la « mise sur le marché des piles et accumulateurs et à leur élimination » impose que la présence de mercure dans des piles soit indiquée par l'apposition du symbole chimique : Hg.

1.2.3.2 Nomenclature Installations Classées (IC)

France : Décret n°53-578 du 20 mai 1953 modifié relatif à la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement mise à jour par le Ministère de l'écologie et du développement durable « Nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement ».

Rubriques⁶ : 1110 - 1111 - 1130 - 1131 - 1155 - 1171 - 1172 - 1177

⁶ La liste des rubriques mentionnées est indicative et ne se veut pas exhaustive.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

1.2.3.3 Piles et accumulateurs

Décret n° 99-374 du 12 mai 1999 relatif à la mise sur le marché des piles et accumulateurs et à leur élimination : « Est interdite la mise sur le marché des piles et accumulateurs contenant plus de 5 ppm en masse de mercure, à l'exception des piles de type bouton ou des piles composées d'éléments de type bouton ne contenant pas plus de 2% en masse de mercure, ainsi que la mise sur le marché des appareils dans lesquels ces piles et accumulateurs sont incorporés. ».

Ne sont toutefois pas soumises à cette prescription certaines catégories d'appareils (les appareils en vue d'assurer une alimentation électrique continue à des fins industrielles intensives ou pour préserver la mémoire et les données d'équipements informatiques, les appareils scientifiques et professionnels équipés de piles de référence, les appareils médicaux équipés de piles ou d'accumulateurs destinés à maintenir les fonctions vitales ainsi que les stimulateurs cardiaques, ...).

Une directive de l'Union européenne (2006/66/CE du 6 septembre 2006) relative aux piles et accumulateurs ainsi qu'aux déchets de piles et accumulateurs reprend ces principes en imposant en plus l'obligation de collecte séparée (en vue d'un recyclage) de ces batteries. De plus, ces directives incitent les états membres à construire des programmes d'action visant à réduire les quantités de mercure présentes dans les piles et accumulateurs. Cet objectif pouvant passer par la promotion de substituts moins polluants et/ou par l'encouragement du recyclage.

1.2.3.4 Équipements électriques et électroniques

La directive 2002/95/EC du 27 janvier 2003 « restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment » impose la substitution de certains métaux lourds (y compris mercure) par d'autres substances pour les équipements électriques et électroniques neufs (date de mise en application : 1^{er} juillet 2006). Certains usages du mercure sont exemptés pour une durée de quatre ans renouvelable (usage du mercure dans les lampes compactes, les tubes fluorescents et d'autres lampes). Ces exceptions doivent néanmoins respecter certaines limitations dans les quantités de mercure utilisées (ces limitations étant définies en annexe du texte). L'arrêté du 25 novembre 2005 (JORF n°277 du 29 novembre 2005, page 18451, texte n° 31) transpose ces recommandations en droit français.

La directive 2002/96/EC du 27 janvier 2003 « waste electrical and electronic equipment » impose, à partir du 13 août 2004, que les industriels mettent en œuvre « les meilleures techniques de traitement/recyclage disponibles » pour les

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

déchets électriques et électroniques. Ce texte impose également une obligation de collecte avec une collecte séparée pour les déchets contenant du mercure⁷.

1.2.3.5 Emballages

Décret n° 98-638 du 20 juillet 1998 relatif à la prise en compte des exigences liées à l'environnement dans la conception et la fabrication des emballages (transcription de la directive 94/62/CE du Parlement européen et du Conseil du 20 décembre 1994 relative aux emballages et aux déchets d'emballages) : « La somme des niveaux de concentration en plomb, cadmium, mercure et chrome hexavalent présents dans l'emballage ou dans ses éléments ne devra pas dépasser 600 parties par million (ppm) en masse s'ils sont fabriqués après le 30 juin 1998, 250 ppm en masse s'ils sont fabriqués après le 30 juin 1999 et, enfin, 100 ppm en masse s'ils sont fabriqués après le 30 juin 2001⁸. »

Des dérogations permettant le dépassement de ces seuils existent pour certains types de produits (par exemple directive 2001/171/CE du 19 février 2001 concernant les emballages en verre et directive 1999/177/CE du 8 février 1999 concernant les caisses en plastique). Néanmoins la législation précise qu'aucune quantité de mercure ne doit être introduite intentionnellement au cours du processus de fabrication : le matériau d'emballage ne peut dépasser les limites de concentration que de façon accidentelle ou du fait de l'adjonction de matières recyclées.

1.2.3.6 Vente de substances dangereuses

Décret n° 92-1074 du 2 octobre 1992 (transposition dans le droit français de la directive européenne 89/677/CEE du 21 décembre 1989) relatif à la mise sur le marché, à l'utilisation et à l'élimination de certaines substances et préparations dangereuses : « Il est interdit de mettre sur le marché, détenir en vue de la vente, céder à titre onéreux ou gratuit, acquérir ou utiliser des produits antisalissures contenant des composés du mercure (...) ».

Ce texte vise les applications suivantes :

- ◆ Antifouling des coques de bateaux, flotteurs, filets et tous autres appareils ou équipement utilisé pour la conchyliculture ou la pêche, ... ;
- ◆ Conservation du bois;
- ◆ Imprégnation des textiles résistants ;
- ◆ Traitement des eaux industrielles."

⁷ Sont considérés comme non soumis à cette directive les matériaux homogènes contenant moins de 0,1% en masse de mercure.

⁸ Ces niveaux de concentration ne s'appliquent pas aux emballages composés entièrement de verre cristal.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

1.2.3.7 Vente de produits phytosanitaires

La directive européenne 79/117/CEE du 21 décembre 1978 prohibe la vente et l'utilisation de produits phytosanitaires contenant certaines substances actives. Cette directive est amendée par la directive 91/188/CEE du 19 mars 1991 (interdiction des produits échappant préalablement à cette réglementation). Ces directives visent tout particulièrement :

- ♦ l'oxyde mercurique ;
- ♦ le chlorure mercurique ;
- ♦ les autres composés inorganiques du mercure ;
- ♦ les composés alkyl du mercure ;
- ♦ les composés alkoxyalkyl et aryl du mercure.

1.2.3.8 Vente de biocides

Décret n° 92-1074 du 2 octobre 1992 relatif à la mise sur le marché, à l'utilisation et à l'élimination de certaines substances et préparations dangereuses : « Il est interdit de mettre sur le marché, détenir en vue de la vente, céder à titre onéreux ou gratuit, acquérir ou utiliser des produits de protection du bois contenant des composés du mercure (...). » « Il est interdit d'utiliser (...) des composés du mercure (...) pour le traitement des eaux industrielles, indépendamment de leur usage. »

Cette réglementation est reprise dans la directive européenne 98/8/EC du 16 février 1998.

1.2.3.9 Exportation et importation de substances chimiques dangereuses

Entré en vigueur en mars 2003, le règlement n° 304/2003/CE du Parlement européen et du Conseil du 28 janvier 2003, modifié par le règlement n° 1376/2007/CE du 23 novembre 2007 concernant les exportations et importations de produits chimiques dangereux précise que le mercure et ses composés sont sujets à déclaration préalablement à toute exportation (y compris les composés du mercure utilisés en tant que pesticides). Ce règlement interdit également certains articles : les savons cosmétiques contenant du mercure en font partie.

1.2.3.10 Sûreté des jouets

La directive européenne 88/378/CEE du 3 mai 1988 (entrée en vigueur en 1990) autorise la mise sur le marché de jouets dans la limite où la biodisponibilité de certaines substances chimiques ne dépasse pas des niveaux définis : pour le mercure, ce niveau équivaut à 0,5 µg par jour.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

1.2.3.11 Cosmétiques

La directive européenne 76/768/CEE du 27 juillet 1976 (entrée en vigueur en 1978) sur les produits cosmétiques indique que le mercure et ses composés ne doivent pas être présents en tant qu'ingrédient dans les cosmétiques (savons, lotions, shampoings, crèmes, etc...). Ce texte attribue une dérogation aux sels phenyl-mercuriques en tant que conservateurs pour le maquillage des yeux ainsi que les produits démaquillants dédiés à ce type de maquillage (si les concentrations n'excèdent pas 0,007% en masse de mercure).

1.2.3.12 Dispositifs de mesures

La directive européenne 2007/51/CE du 25 septembre 2007 sur la limitation de la mise sur le marché de certains dispositifs de mesure contenant du mercure établit que ne peut être mis sur le marché :

a) dans des thermomètres médicaux ;

dans d'autres dispositifs de mesure destinés à la vente au grand public (par exemple : manomètres, baromètres, sphygmomanomètres, thermomètres autres que les thermomètres médicaux).

La restriction du point b) ne s'applique pas :

- aux dispositifs de mesure datant de plus de cinquante ans au 3 octobre 2007,
- aux baromètres [à l'exception des baromètres relevant du point a)] jusqu'au 3 octobre 2009.

Pour le 3 octobre 2009, la commission va passer en revue les solutions fiables, plus sûres et étant techniquement et économiquement réalisables afin de remplacer ces dispositifs pour les applications médicales et industrielles.

Sur la base de cet examen, la Commission présentera, le cas échéant, une proposition législative visant à étendre les restrictions aux sphygmomanomètres (ou tensiomètres) et aux autres dispositifs de mesure à usage médical ainsi que dans ceux destinés à d'autres usages professionnels et industriels, de manière à éliminer le mercure des dispositifs de mesure chaque fois que cela est techniquement et économiquement réalisable.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

1.2.4 Législation française vis à vis des émissions et de la présence dans l'environnement

1.2.4.1 Grandes installations de combustion (GIC)

L'arrêté du 20 juin 2002, modifié par les arrêtés du 24 décembre 2002 et du 13 juillet 2004, relatif aux chaudières présentes dans une installation nouvelle ou modifiée d'une puissance supérieure à 20 MWth⁹ fixe des VLE¹⁰ dans l'air pour le Cadmium (Cd), le mercure (Hg) et le thallium (Tl) et ses composés : 0,05 mg.Nm⁻³ par métal et 0,1 mg.Nm⁻³ (mg.m⁻³ dans des conditions dites normales¹¹) pour la somme exprimée en (Cd + Hg + Tl) et dans l'eau (0,05 mg.L⁻¹ pour le mercure)

L'arrêté du 30 juillet 2003, modifié par les arrêtés du 13 juillet 2004 et du 31 octobre 2007, relatif aux chaudières présentes dans des installations existantes de combustion d'une puissance supérieure à 20 MWth renvoie aux mêmes VLE.

1.2.4.2 Installations effectuant de l'électrolyse des chlorures alcalins

La directive européenne 82/176/CEE du 22 mars 1982, concernant les valeurs limites et les objectifs de qualité pour les rejets de mercure du secteur de l'électrolyse des chlorures alcalins a été transcrite en droit français par l'arrêté du 2 février 1998 modifié par celui du 6 août 2007 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation fixe les valeurs limites de rejets à 0,3 g.t⁻¹ de capacité de production de chlore, à la sortie de l'atelier et à 0,6 g.t⁻¹ de capacité de production de chlore, à la sortie du site industriel. (les valeurs limites en moyenne journalière sont égales au double des valeurs limites mensuelles).

Les ateliers existants doivent respecter les valeurs limites suivantes pour les rejets de mercure dans l'air : 1,5 g.t⁻¹ de capacité de production de chlore dans l'installation et 1,2 g.t⁻¹ à partir de 2010.

1.2.4.3 Incinération de déchets

⁹ MWth : Mega Watt thermique unité de mesure de la puissance thermique (chaleur) d'une centrale, transformée en électricité. Le rapport entre la puissance électrique et la puissance thermique de la centrale (<1) est son rendement.

¹⁰VLE signifie : valeur limite d'émission, c'est-à-dire la valeur maximum de rejet autorisé pour l'installation dans l'environnement.

¹¹ La lettre « N » est une abréviation du terme « normal ». Ce qui est synonyme d'une température moyenne de 0°C et une pression de 1,013 bar (conditions dans lesquels une mole de gaz parfait à un volume de 22,413837 litres).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Les arrêtés du 10 octobre 1996 et du 20 septembre 2002, modifiés par l'arrêté du 10 février 2005, relatifs aux installations spécialisées d'incinération et aux installations de co-incinération de certains déchets industriels spéciaux, dangereux ou non dangereux fixent :

- ♦ les VLE pour le mercure et ses composés (exprimées en concentration massique de mercure) : 0,05 mg.m⁻³ ;
- ♦ les valeurs limites de rejet (exprimées en concentration massique de mercure) : 0,03 mg.L⁻¹ pour les eaux de lavage des gaz de combustion.

Pour les cimenteries, la teneur des déchets industriels spéciaux à l'entrée du four ne doit pas dépasser 10 mg.kg⁻¹ de mercure (Hg).

Ces valeurs sont reprises par la directive européenne 2000/76/CE du 4 décembre 2000 qui impose de surcroît la surveillance des effluents gazeux et aqueux (au minimum deux mesures par jour de concentration en mercure des gaz de combustion et une mesure par mois de concentration des eaux de lavage des gaz de combustion).

1.2.4.4 Autres installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)

L'arrêté du 2 février 1998 relatif aux **prélèvements et à la consommation d'eau** ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation est repris ci-dessous :

Rejets de cadmium, mercure et thallium, et de leurs composés : si le flux horaire total de cadmium, mercure et thallium, et de leurs composés dépasse 1 g.h⁻¹, la valeur limite de concentration est de 0,05 mg.m⁻³ par métal, de 0,1 mg.m⁻³ pour la somme des métaux (exprimée en Cd + Hg + Tl) et de 0,05 mg.L⁻¹ dans l'eau.

L'arrêté du 3 mai 1993 relatif aux **cimenteries** indique que : « les teneurs en métaux des émissions gazeuses en provenance du four, mesurées sur un échantillon représentatif d'une période de deux heures minimum, respectent les valeurs limites suivantes : 0,2 mg.m⁻³ pour la somme Cd + Tl + Hg (gaz et particules). »

L'arrêté du 3 avril 2000 relatif à **l'industrie papetière** régit les rejets de cadmium, mercure et thallium, et de leurs composés : si le flux horaire total de cadmium, mercure et thallium, et de leurs composés dépasse 1 g.h⁻¹, la valeur limite de concentration est de 0,2 mg.m⁻³ (exprimée en Cd + Hg + Tl).

L'arrêté du 12 mars 2003 relatif à **l'industrie du verre** et de la fibre minérale indique que si le flux horaire total de cadmium, mercure, thallium et leurs

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

composés, sous forme gazeuse et particulaire, dépasse 1 g.h^{-1} , la valeur limite de concentration des rejets de cadmium, mercure et thallium et de leurs composés est de $0,05 \text{ mg.Nm}^{-3}$ par métal et de $0,1 \text{ mg.Nm}^{-3}$ pour la somme des métaux (exprimée en $\text{Cd} + \text{Hg} + \text{Tl}$), en ce qui concerne à la fois les rejets des unités de fusion et des autres activités annexes. Pour le verre d'emballage dont le taux de recyclage de calcin externe est supérieur à 40% et dont les poussières de filtres sont recyclées dans le four, la valeur limite de concentration des rejets de cadmium, mercure et thallium et de leurs composés de $0,05 \text{ mg.Nm}^{-3}$ par métal est portée à $0,1 \text{ mg.Nm}^{-3}$ et à $0,15 \text{ mg.Nm}^{-3}$ pour la somme des métaux en ce qui concerne à la fois les rejets des unités de fusion et des autres activités annexes. Pour les verres sodocalciques la valeur limite peut s'appliquer uniquement au cadmium si l'exploitant démontre que les matières premières utilisées contiennent des quantités négligeables de mercure et de thallium.

1.2.5 Législation communautaire vis à vis des émissions et de la présence dans l'environnement

1.2.5.1 Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC)

L'Union européenne a une série de règles communes sur l'octroi d'autorisations aux installations industrielles. Ces règles sont exposées dans la directive IPPC de 1996 (directive 96/61/EC du 24 septembre 1996) modifiée par le règlement CE n° 166/2006. Toutes les installations industrielles couvertes par l'Annexe I de la directive¹² doivent obtenir une autorisation (permis) des autorités dans les pays de l'Union européenne. Son entrée en vigueur a eu lieu en 1999 pour les nouvelles installations (ou les installations anciennes subissant des modifications substantielles). Les installations existantes avant 1996 bénéficient d'un délai pour ce conformer à ce texte (*dead-line* le 30 octobre 2007).

Les autorisations doivent être fondées sur les *Meilleures Techniques Disponibles (MTD)*.

A certaines MTD sont associées des Valeurs Limites d'Emission (VLE) de Mercure. Des VLE associées aux MTD sont à prendre en compte dans un grand nombre de secteurs industriels, parmi lesquels notamment :

- ◆ L'industrie du chlore.
- ◆ Les installations de traitement des déchets
- ◆ Les grandes installations de combustion
- ◆ L'industrie chimique
- ◆ L'industrie métallurgique

¹² Entre autres, les installations industrielles visant à produire de l'énergie, des métaux, des minéraux, des produits chimiques, les installations industrielles gérant les déchets ainsi que d'autres activités telles que les fermes industrielles, les papeteries et les tanneries.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Les documents de référence qui décrivent les MTD et donnent les VLE qui y sont associées sont appelés des BREFs. Ils peuvent être consultés, ainsi que des résumés en français sur le site AIDA de l'INERIS : <http://aida.ineris.fr>

1.2.5.2 Rejets dans les eaux

Les rejets de mercure dans l'environnement aquatique sont réglementés par différents textes européens :

- la Directive 76/464/CEE du 4 mai 1976 relative à la pollution causée par certaines substances dangereuses rejetées dans l'environnement aquatique ;
- la Directive 82/176/CEE du 22 mars 1982 relative aux valeurs limites et aux objectifs de qualité pour les rejets de mercure issus de l'industrie du chlore ;
- la Directive 84/156/CEE du 8 mars 1984 relative aux valeurs limites et aux objectifs de qualité pour les rejets de mercure issus du secteur industriel autre que celui de l'industrie du chlore.

1.2.5.3 Protection des eaux

La Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établit un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (eau de surface, eaux transitoire, eau côtière et eau souterraine). La décision 2001/2455/CE classe le mercure comme « substance dangereuse prioritaire » ("priority hazardous substance"). Pour ces substances, la directive impose la cessation ou l'élimination progressive des émissions, rejets et pertes dans un délai de 20 ans après l'adoption de la Directive.

Notons qu'à l'échelle européenne, une directive établissant des normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau et modifiant les directives 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 86/280/CEE et 2000/60/CE a été adoptée le 17 juin 2008. L'application de cette directive « fille » adoptée en juin 2008 par le parlement devrait permettre d'éliminer progressivement d'ici à 2018 les 13 substances déjà identifiées comme « substances dangereuses prioritaires » dont le mercure.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

De plus, ce texte prévoit que les États membres appliquent les NQE suivantes pour le mercure :

- NQE eaux de surface intérieures $0,05 \mu\text{g.L}^{-1}$ (moyenne annuelle¹³) ;
 - NQE autres eaux de surface $0,05 \mu\text{g.L}^{-1}$ (moyenne annuelle) ;
 - NQE eaux de surface intérieures $0,07 \mu\text{g.L}^{-1}$ (concentration maximale admissible¹⁴) ;
- NQE autres eaux de surface $0,07 \mu\text{g.L}^{-1}$ (concentration maximale admissible).

Les NQE définies pour le mercure se rapportent à la concentration de matières dissoutes, c'est-à-dire à la phase dissoute d'un échantillon d'eau obtenu par filtration à travers un filtre de $0,45 \mu\text{m}$ ou par tout autre traitement préliminaire équivalent.

D'autre part, les États membres pourront choisir d'appliquer des NQE pour les sédiments et/ou le biote en lieu et place des valeurs ci-dessus reprises. Dans le cas du mercure, la NQE sera fixée à $20 \mu\text{g.kg}^{-1}$ s'appliquant aux tissus (poids à l'état frais), en choisissant l'indicateur le plus approprié parmi les poissons, mollusques, crustacés et autres biotes.

1.2.5.4 Protection des eaux souterraines

La directive européenne 80/68/CEE est relative à la protection des eaux souterraines contre la pollution causée par certaines substances dangereuses. Dans le cas du mercure, ce texte interdit les rejets directs (introduction sans percolation à travers le sol ou le sous-sol) et les rejets indirects sont sujets à des investigations préalables et à la mise en place des techniques de précaution nécessaires. Ce texte est entré en vigueur en 1981 et sera abrogé au 22 décembre 2013.

La directive 2000/60/EC reprend et élargit ces principes à toutes les activités pouvant entraîner des pollutions par le mercure ou ses composés. La directive européenne 2006/118 sur la protection des eaux souterraines contre la pollution et la détérioration demande aux pays membres de fixer les valeurs limites de rejets de différents polluants.

¹³ Pour toute masse d'eau de surface donnée, l'application des « NQE-moyenne annuelle » a pour effet que, pour tout point de surveillance représentatif de cette masse d'eau, la moyenne arithmétique des concentrations mesurées à différentes périodes de l'année ne dépasse pas la valeur fixée dans la norme.

¹⁴ Pour toute masse d'eau de surface donnée, l'application des « NQE-Concentration maximale admissible » a pour effet que, pour tout point de surveillance représentatif de cette masse d'eau, la concentration mesurée ne dépasse pas la norme

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

1.2.5.5 Protection de la santé et protection des travailleurs

La directive européenne 98/24/EC du 7 avril 1998 propose des valeurs limites d'exposition des travailleurs : 0,02 mg.m⁻³ d'air pour une moyenne de huit heures de mise en contact ; 0,01 mg.L⁻¹ dans le sang et 0,03 mg.g⁻¹ de créatinine dans les urines.

1.2.5.6 Air ambiant

Les directives européennes 96/62/EC du 27 septembre 1996 et 2004/107/CE du 15 décembre 2004 concernent l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant. Ces directives invitent les états membres à définir des objectifs environnementaux (valeurs limites, valeurs cibles, valeurs d'alertes). Néanmoins, à ce jour, de telles valeurs n'existent pas pour le mercure.

Parmi les différentes actions demandées par ces directives, citons l'obligation d'installer pour chaque état membre un point de prélèvement ou au moins un point de prélèvement tous les 100 000 km² pour assurer une mesure indicative, dans l'air ambiant du mercure gazeux total¹⁵ et du dépôt total de mercure. La mesure du mercure bivalent particulaire et gazeux est recommandée.

1.2.6 Mesure et contrôle

L'arrêté du 24 décembre 2002 de la République Française relatif à la déclaration annuelle des émissions polluantes des installations classées soumises à autorisation et le règlement 574/2004 de la Commission du 23 février 2004 modifiant les annexes I et III du règlement 2150/2002 relatif aux statistiques sur les déchets, définissent le suivi réglementaire s'imposant pour toute utilisation du mercure et/ou de ses composés.

Plus en détails, la décision européenne 2000/479/EC du 17 juillet 2000 relative au registre EPER (European Pollutant Emission Register) impose aux états membres de soumettre à la Commission des rapports rendant compte des émissions vers l'air et l'eau de toutes les installations responsables de rejets de mercure en direction de l'air supérieures à 10 kg.an⁻¹ et/ou vers l'eau de 1 kg.an⁻¹. Le premier rapport traite des émissions de l'année 2001 et le second de celles de l'année 2004.

¹⁵ Cette appellation correspond à la vapeur de mercure élémentaire (Hg⁰) et le mercure gazeux réactif, c'est-à-dire les espèces de mercure hydrosoluble qui ont une pression de vapeur suffisamment élevée pour exister en phase gazeuse.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

1.2.7 Déchets et recyclage

1.2.7.1 Piles et batteries

La circulaire du 7 janvier 1997 de la République Française régit l'organisation de la collecte, du recyclage et de l'élimination des piles et accumulateurs.

1.2.7.2 Véhicules en fin de vie

La directive européenne 2000/53/EC du 18 septembre 2000 tend à définir de bonnes pratiques afin d'encourager et de faciliter la valorisation et le recyclage des véhicules en fin de vie. Ainsi, les états membres se sont engagés à ce que les équipements automobiles mis sur le marché après le 1^{er} juillet 2003 ne contiennent plus de mercure (à l'exception des ampoules et de certains instruments d'affichage). De plus, les états membres doivent assurer que les véhicules en fin de vie soient stockés et traités en respect des règles techniques en vigueur (y compris le démontage, dans la mesure du possible, de l'ensemble des équipements identifiés comme contenant du mercure) Ce texte est entré en vigueur en 2002.

1.2.7.3 Déchets spéciaux

La décision de la commission du Parlement européen 2000/532/EC du 3 mai 2000 (en remplacement de la décision 94/3/EC) établit une liste des déchets dits « spéciaux » (Hazardous Waste). Pour chacun, elle précise les seuils de concentrations admissibles, la classification, l'étiquetage...

Cette décision fait directement référence au mercure à travers les déchets portant les codes :

- ◆ 05 07 01* "Sludges containing mercury" (issu de la purification de gaz naturel) ;
- ◆ 06 04 04* "Waste containing mercury" ;
- ◆ 16 06 03* "Mercury containing batteries" ;
- ◆ 18 01 10* "Amalgam waste from dental care" ;
- ◆ 20 01 21* "Fluorescent tubes and other mercury containing waste" ;

ainsi que d'autres codes spécifiques qui incluent l'expression "containing dangerous" qui peut faire référence au mercure.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

1.2.7.4 Amalgames dentaires

Selon le site internet de la SDF (Société Dentaire Française), le mercure utilisé en odontologie peut contaminer l'environnement par le biais de l'évacuation des déchets provenant des cabinets dentaires. Il existe dans ce domaine un matériel moderne qui permet de récupérer, avec une efficacité supérieure à 95% pour le mercure, les déchets métalliques produits à la suite de l'insertion ou de l'élimination de l'amalgame. Les dispositions réglementaires sont précisées par l'arrêté du 30 mars 1998 relatif à l'élimination des déchets d'amalgame issus des cabinets dentaires (texte entré en vigueur en 2001) :

« Les déchets secs et liquides d'amalgames dentaires sont, dès leur production, séparés des autres déchets. Les déchets secs d'amalgames dentaires, les déchets d'amalgame contenus dans le préfiltre et les capsules de prédose sont conditionnés dans des emballages identifiés à usage unique, étanches à l'eau en toutes positions, résistant à la perforation, stables et présentant une fermeture provisoire et une inviolabilité complète lors du transport. Les effluents liquides contenant des résidus d'amalgames dentaires sont évacués vers le réseau d'eaux usées après passage dans un séparateur d'amalgame. Le séparateur d'amalgame retient, quelles que soient les conditions de débit, 95% au moins, en poids, de l'amalgame contenu dans les eaux usées. »

Les conditions de transport de l'ensemble des déchets d'amalgame sont également spécifiées dans le texte.

1.2.7.5 Mise en décharge

La directive européenne 1999/31/EC du 26 avril 1999 complétée par la décision 2003/33/EC du 19 décembre 2002 établit des procédures et critères d'acceptabilité des déchets en décharge (afin de réduire les effets sur l'environnement et sur la santé humaine de la mise en décharge de déchets).

Les états membres doivent s'assurer que certains déchets ne soient pas acceptés en décharge et en particulier les déchets pouvant entraîner la lixiviation de mercure (selon des critères précisés en annexe de la directive). Ce texte se penche également sur le cas des décharges souterraines où des techniques particulières d'entreposage ainsi qu'un suivi environnemental sont imposés.

Les états membres disposent d'un délai s'étendant jusqu'en juillet 2009 pour mettre aux normes leurs décharges.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

1.2.7.6 Épandage de boues

L'arrêté du 8 janvier 1998 de la République Française fixe les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles issues du traitement des eaux usées. Il fixe des teneurs limites en éléments-traces (y compris le mercure) dans les boues, des valeurs limites de concentration en éléments-traces dans les sols et des flux cumulés maximaux en éléments-traces apportés par les boues pour les pâturages ou les sols de pH inférieurs à 6.

La directive européenne 86/278/CEE du 12 juin 1986 traite de la même question. Par exemple, dans le cas du mercure, les valeurs limites sont comprises entre 1 à 1,5 mg.kg⁻¹ (matière sèche) pour les sols à pH supérieur à 6 et inférieur à 7.

Cette directive indique que les états membres doivent réguler l'épandage de boues issues de stations d'épuration afin que l'accumulation des métaux lourds dans les sols n'entraîne pas de dépassement des valeurs limites. Pour cela ils disposent de deux moyens :

- ◆ la diminution des quantités de boues qui peuvent être épandues par unité de surface et par an tout en respectant les teneurs maximales en métaux lourds autorisées dans les boues (16 à 25 mg.kg⁻¹ de matière sèche pour le mercure) ;
- ◆ le respect des valeurs limites de métaux lourds introduits dans les sols par unité de surface et de temps (0,1 kg.ha⁻¹.an⁻¹ pour le mercure).

1.2.8 Consommation humaine

1.2.8.1 Contamination des poissons destinés à l'alimentation

Les réglementations de la Commission européenne 466/2001 du 8 mars 2001 et 221/2002 du 6 février 2002 réglementent les niveaux maximums de certains contaminants dans les poissons destinés à l'alimentation.

Pour le mercure la limite équivaut à 0,5 mg.kg⁻¹ de matière humide pour le poisson (à l'exception des espèces suivantes soumises à un maximum de 1 mg.kg⁻¹ : *Lophius* spp. ; *Anarhichas lupus* ; *Dicentrarchus labrax* ; *Molva dipterygia* ; *Sarda* spp. ; *Anguilla* spp. ; *Hoplostethus atlanticus* ; *Coryphenoides rupestris* ; *Hippoglossus hippoglossus* ; *Makaira* spp. ; *Esox lucius* ; *Orcynopsis unicolor* ; *Centroscyms coelolepis* ; *Raja* spp. ; *Sebastes marinus* ; *Sebastes mentella* ; *Sebastes viviparus* ; *Istiophorus platypterus* ; *Lepidopus caudatus* ; *Aphanopus carbo* ; toutes espèces de requin ; *Lepidocybium flavobrunneum* ; *Ruvettus pretiosus* ; *Gempylus serpens* ; *Acipenser* spp. ; *Xiphias gladius* ; *Thunnus* et *Euthynnus* spp.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

1.2.8.2 Qualité des eaux en zone conchylicoles

D'après la directive européenne 79/923/CEE du 30 octobre 1979, les états membres doivent s'assurer que la concentration de mercure dans les eaux en zone conchylicoles ne dépasse pas un niveau entraînant des effets négatifs sur les coquillages, mollusques.

2. PRODUCTION ET UTILISATIONS

2.1 Production et vente

2.1.1 Production primaire à partir de cinabre

L'écorce terrestre contient en moyenne environ 0,02 ppm de mercure. Le cinabre (HgS) est le minéral mercuriel le plus largement répandu et exploité. Il provient de gisements souterrains ou à ciel ouvert. Le minerai exploité se localise à des profondeurs comprises entre quelques mètres et 700 mètres. Celui-ci est extrait par des techniques minières classiques, puis broyé et grillé dans un four. Le mercure, libéré sous forme vapeur, est recueilli par condensation.

En France, on ne recense aucune activité minière ni métallurgique concernant le mercure. La production mondiale est en constante diminution depuis une vingtaine d'année : 10000 t en 1970 ; 6500 t en 1986 ; 3260 t en 1996, 1600 t en 2003 et 1100 t en 2005 (cf. figure 2.1. ci-après d'après Vignes *et al.*, 1997 ; Quid 2006, 2008).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

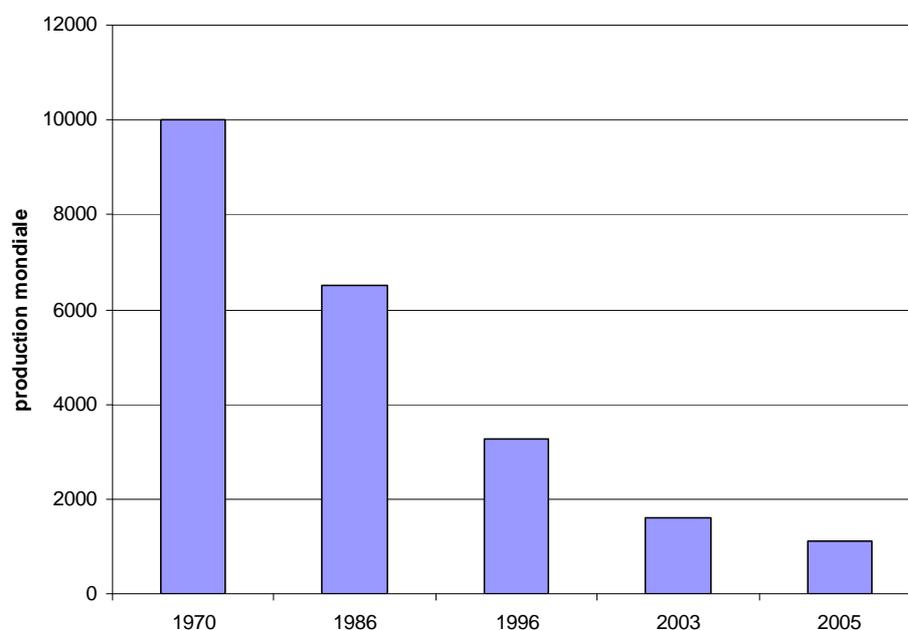


Figure 2.1. Production mondiale de mercure ; en tonnes
(d'après Vignes et al., 1997 ; Quid 2006, 2008).

La production primaire européenne (estimée à 500 t en 2003) est uniquement réalisée en Espagne¹⁶. A ce chiffre s'additionne la production secondaire (incluant le recyclage et la régénération industrielle) : en 1991, Maxson *et al.* estimaient cette production secondaire en Europe à près de 70% de la production primaire. Ainsi, des quantités importantes de mercure ont été mises sur le marché à la suite du remplacement continu de cet élément et de la fermeture d'installations de chlore-soude à base de mercure en Europe. Une analyse du marché montre qu'entre 700 et 900 tonnes de mercure recyclé (correspondant à environ 30% de la production primaire recensée) ont été mises sur le marché dans le monde depuis le milieu des années 90, dont la majorité avait comme origine les installations chlore-soude. (UNEP, 2002)

¹⁶ Production primaire européenne de mercure assurée par la société Minas de Almaden (Espagne).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

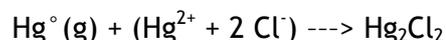
PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

2.1.2 Production primaire à partir de minerais d'autres métaux

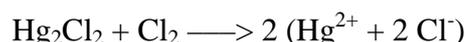
Les procédés de récupération du mercure exposés ci-dessous sont tirés de Vignes *et al.* (1997). Néanmoins, aucun chiffre français n'a été identifié au cours de cette étude.

Le mercure est parfois associé à divers minerais sulfurés, par exemple la blende (les concentrés de zinc contiennent de 5 à 350 ppm de Hg). De même, le mercure est souvent présent dans les gisements d'or et d'argent.

- Métallurgie de l'or et de l'argent : lors du traitement du minerai par cyanuration, le mercure se comporte comme l'or et l'argent et se retrouve, après électrolyse, avec ces éléments, sur la cathode. Avant fusion de la cathode et obtention du "doré", le mercure est éliminé et récupéré par distillation puis condensation dans des retortes maintenues sous vide. Par exemple, aux Etats-Unis, 75 t de Hg.an⁻¹ sont ainsi récupérées.
- Métallurgie du zinc : lors du grillage de la blende, le mercure se retrouve à l'état de vapeur avec le dioxyde de soufre. Afin d'éliminer le mercure, le procédé Norzink est le plus employé. Il consiste à fixer le mercure dans une solution de chlorure mercurique selon la réaction :



Une partie du chlorure mercurieux est oxydé par le dichlore afin de régénérer, en solution, le chlorure mercurique, selon la réaction :



Après traitement, le gaz contient moins de 0,05 mg de Hg.m⁻³. Le mercure peut être récupéré par électrolyse de la solution de chlorure mercurique. Le mercure ainsi récupéré représente 360 t.an⁻¹ dans le monde.

2.1.3 Production secondaire et recyclage

Les exemples de recyclage du mercure exposés ci-dessous sont tirés de Vignes *et al.*, 1997.

- Déchets industriels et domestiques :

En France, la Société Duclos Environnement (13) recycle le mercure des déchets industriels et domestiques (thermomètres, amalgames dentaires, ...). Les déchets sont traités dans un four sous vide (0,01 bar) entre 350 et 700°C. Dans ces conditions, le mercure distillé est récupéré par condensation. En 1992, cette société a ainsi récupéré 150 tonnes de mercure.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

- Traitement des piles :

Euro Dieuze Industrie, à Dieuze (57), a démarré, en 1996, une usine de traitement de piles prévue pour traiter 3 500 t.an⁻¹. Elle fonctionne par hydrométallurgie à l'acide sulfurique.

La société MBM (49) a une capacité de traitement de piles, par distillation, de 10 t.an⁻¹.

Sarp Industrie (Groupe Veolia) a un projet de traitement de 5 000 t.an⁻¹ à Limay (78) et Tulle (19).

Les principales usines européennes de traitement de piles, exploitées par Batrec et Recymet, sont situées en Suisse. La société Batrec a un projet d'implantation au Havre (76) avec une capacité de 200 000 t.an⁻¹.

- Traitement des lampes fluorescentes :

En France, en 1997, le traitement est effectué par deux camions-usines de la société Provalor qui avait comme prévision de traitement, en 1997, 1 million de tubes (chiffre à rapprocher des 50 millions d'unités vendues annuellement en France). Précisons que la directive 2002/96/CE impose à partir du 13 août 2005, la collecte et le recyclage de ces lampes (avec prise en charge des coûts de traitement par les producteurs).

Selon le site internet de l'Agence Poitou-Charentes Energie Déchets Eau, SARP Industries et Philips ont également développé un procédé qui consiste à couper les extrémités des tubes par choc thermique et souffler la poudre fluorescente qu'ils contiennent. Les différentes parties collectées séparément sont ensuite orientées vers des unités de traitement qui assureront, entre autre, leur démercuration.

Sitons par exemple, la société Lumiver Optim (<http://www.lumiver.fr/>) qui assure, en France, la collecte et le recyclage des lampes fluorescentes avec une valorisation atteignant 98% du tube. Selon cette source, la valorisation conduit à la réutilisation du verre dans l'industrie du tube, les métaux ferreux et non-ferreux dans l'affinage des métaux alors que les poudres de mercure sont distillées et retournées à l'industrie.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

2.1.4 Vente

En France, les chiffres du commerce extérieur concernant le mercure sont fournis sur le site internet de la Direction générale des douanes (tableau 2.1).

Tableau 2.1. Chiffres du commerce extérieur français concernant le mercure (d'après Direction générale des douanes)

Année	Importations		Exportations	
	(k€)	(t)	(k€)	(t)
2005	244	210	280	20
2006	207	139	175	27

2.2 Utilisations

2.2.1 Données générales

Le mercure est utilisé dans diverses activités industrielles (cf. Tableau 2.2). Le rapport publié par Floyd *et al.* (2002) propose une estimation des quantités de mercure annuellement dédiées à chacun de ces usages en Europe.

Les paragraphes ci-après (§0 à 2.2.4) apporteront plus de détails pour les activités représentant les plus fortes consommations de mercure : l'industrie du chlore et l'usage du mercure dans les amalgames dentaires.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Tableau 2.2. Utilisation de mercure en France en 1990-1992 (d'après EOCD, 1995).

Usage	(t)	(%)
Batteries ¹	10,0	16,34
Thermomètres ²	12,5	20,42
Amalgames dentaires ³	16,0	26,14
Pesticides ⁴	0,0	0
Lampes ⁵	0,5	0,82
Industrie du chlore ⁶	21,1	34,48
Autres usages ⁷	1,1	1,80
Total	61,2	100

1. Batteries : la consommation annuelle française de piles et batteries est estimée à 600 millions de piles, soit -22 000 t.

- *Piles salines* : contenaient 0,6% de Hg qui formait un amalgame avec le zinc et permettait ainsi d'éviter l'oxydation du zinc par l'eau avec dégagement de dihydrogène. En France, chaque année, de 10 à 20 t de mercure contenu dans les piles usées étaient rejetées. Actuellement les piles salines ne contiennent plus de mercure, il est substitué par un produit fluoré polyéthoxylé placé dans le séparateur.

- *Piles alcalines* : la teneur en Hg est de 0,025%.

- *Piles bouton* : 10% de ces piles ont une cathode constituée d'un mélange HgO-C (par exemple utilisées pour les appareils auditifs). Elles contiennent 30% de Hg. Les piles à oxyde d'argent et zinc-air contiennent 0,5% de Hg. Tous types de piles bouton confondus, la France, consomme annuellement 40 t de piles bouton.

2. Thermomètres : en 1998, la vente de thermomètres à mercure a été interdite. Néanmoins, il en existe un important stock en circulation. A titre d'exemple, un thermomètre médical représente ~ 2 g de mercure, en France, avant 1998 il s'en cassait 5 millions par an, soit une dispersion de 10 tonnes de mercure par an.

3. Amalgames dentaires : ils contiennent environ 50% de Hg (0,6 g de Hg par amalgame) et sont obtenus par trituration (mélange) à froid d'une poudre (par exemple : Ag : 70%, Sn : 25%, Cu : 4%, Zn : 1%) avec le mercure. On estime, en France, que les dentistes seraient responsables des 3/4 de la pollution des particuliers. Il convient également de prendre en compte la pollution atmosphérique en mercure provenant des amalgames dentaires depuis les crématoriums.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

4. Pesticides : secteur d'activité où l'usage du mercure est prohibé.

5. Lampes fluorescentes : un total de près de 50 millions de lampes et de tubes fluorescents est vendu annuellement en France (site internet de l'Agence Poitou-Charentes Energie Déchets Eau). Elles contiennent, en moyenne, 15 mg de Hg. Plus en détail, selon Vignes *et al.* ; 1997), en 1996, en France, on estimait la consommation de lampes fluorescentes à 40 millions d'unités, de lampes fluocompactes (3 à 10 mg de Hg par lampe) à 5 millions, de lampes luminescentes (30 mg de Hg par lampe) à 3,6 millions, soit, au total, 1 t de Hg.an⁻¹.

6 Industrie du chlore : Un ordre d'idée peut être obtenu à partir de l'exemple des cellules à cathode de mercure pour la production de Cl₂ - NaOH. 3 à 4 t de Hg sont nécessaires par cellule. Les rejets de Hg dans l'air sont traités ci après (cf. §0).

7 Divers : Il existe de nombreuses utilisations industrielles minoritaires du mercure¹⁷ : fabrication de matières plastiques, chlorure de vinyll, en tant que catalyseurs, fabrication de médicaments (vaccins¹⁸ et antiseptiques¹⁹), fabrication automobile de commutateurs électriques, de phares et des systèmes ABS, industrie pyrotechnique²⁰, peintures pour bateaux, pigments²¹, extraction des métaux précieux, lentilles des phares (sémaphores), ...

2.2.2 Industrie du chlore

2.2.2.1 Utilisation du mercure par l'industrie du chlore

¹⁷ Des estimations de teneurs en mercure de certains de ces usages du mercure sont synthétisées dans les rapports rédigés par Floyd *et al.* (2002) et Environnement Canada (site internet d'environnement Canada).

¹⁸ L'Agence européenne d'évaluation des médicaments a recommandé le 04/07/2000 que les vaccins contenant des composés de mercure (thiomersal) ne soient plus utilisés chez les nourrissons et les jeunes enfants. D'après le site internet du Vidal et une communication personnelle de Mosqueron, en 2005, des vaccins contenant du thiomersal étaient encore disponibles sur le marché français.

¹⁹ Une note (disponible sur internet sur le site Pharmacorama) fait état, sauf erreur ou omission, de la situation actuelle en France en matière de commercialisation d'antiseptiques mercuriels.

²⁰ Usage abandonné en France depuis une vingtaine d'années (R. Branka, communication personnelle).

²¹ Floyd *et al.* (2002) estiment que l'usage commercial du mercure dans les pigments (vermilion) a pratiquement disparu.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Cette industrie produit du chlore (Cl_2) par électrolyse d'une solution de sel. En 2002, la production française atteignait 1,7 Mt (SHD, 2004). Les principales techniques utilisées pour produire du chlore sont l'électrolyse dans des cellules à cathode de mercure (figure 2.2) pour 51% de la production Française en 2002, l'électrolyse à diaphragme pour 33% ou à membrane pour 14% (SHD, 2004 ; Commission Européenne, 2001b).

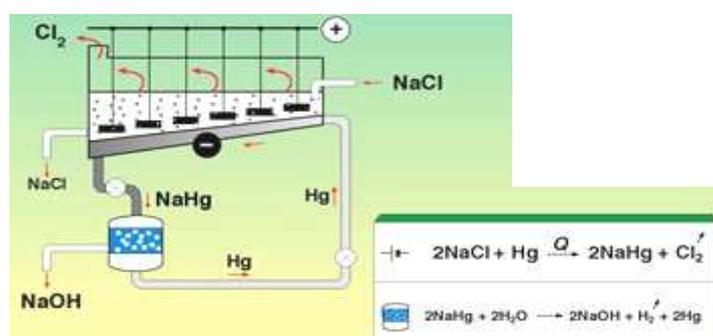


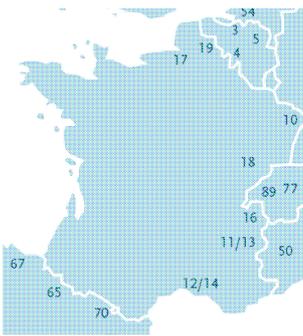
Figure 2.2. Electrolyseur à cathode de mercure (d'après le site internet de l'IUPAC ; schéma modifié).

Le tableau 2.3 présente, selon Euro Chlor (2005), les sites industriels français ayant recours (au moins en partie) à la technologie « mercure » pour fabriquer du chlore.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Tableau 2.3. Sites industriels français ayant recours (au moins en partie) à la technologie « mercure » pour fabriquer du chlore (d'après Euro Chlor, 2008).

Code de localisation	Société	Site	Capacité (10 ³ t)	Localisation
10	Albemarle	Thann	72	
13	Arkema	Jarrie	170	
14	Arkema	Lavera	< 341	
17	Prod. Chim. d'Harbennes	Harbennes	23	
18	Sovay	Tavaux	< 375	
19	Tessenderlo Chemie	Loos	18	

2.2.2.2 Devenir du mercure provenant des sites de fabrication du chlore

Actuellement, les cellules à mercure utilisées pour la production de chlore dans l'Union européenne contiennent quelques 12 000 tonnes de mercure (BelgoChlore, 2004 ; Commission Européenne, 2001b). Lors de la conversion ou de la mise à l'arrêt de ces installations, le mercure peut, potentiellement, être rejeté dans

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

l'environnement. Actuellement, il n'existe aucune politique ou législation à l'échelle de l'Union européenne sur la façon de traiter cette énorme quantité de mercure pur (Commission Européenne, 2001b). Néanmoins, les producteurs de chlore ont conclu un accord avec le seul producteur européen de mercure, Minas de Almaden en Espagne, en vue de lui retourner cette quantité de mercure. Minas de Almaden adaptera sa capacité de production afin de prévenir toute distorsion du marché²² (BelgoChlore, 2004).

Le document européen de référence sur les Meilleures Techniques Disponibles pour la production de chlore (IPPC, 2001b) indique que l'électrolyse à mercure n'est pas une MTD, ce qui explique l'annonce de son abandon par l'industrie.

Ainsi, aucune nouvelle installation utilisant le procédé d'électrolyse à mercure ne sera plus construite : des technologies alternatives seront appliquées pour chaque nouvelle unité d'électrolyse à construire (BelgoChlore, 2004).

Les installations européennes de fabrication de chlore par électrolyse à mercure existantes seront démantelées à l'expiration de leur durée de vie (BelgoChlore, 2004). Ainsi, on considère que la technologie « mercure » sera totalement abandonnée en 2020 (BelgoChlore, 2004 ; SHD, 2004 ; communication personnelle de Moulet).

A titre d'exemple, la figure 2.3 illustre l'évolution des procédés de fabrication de chlore depuis 1997.

²² A ce jour, plus de 1.000 tonnes de mercure ont déjà été expédiées vers l'Espagne.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

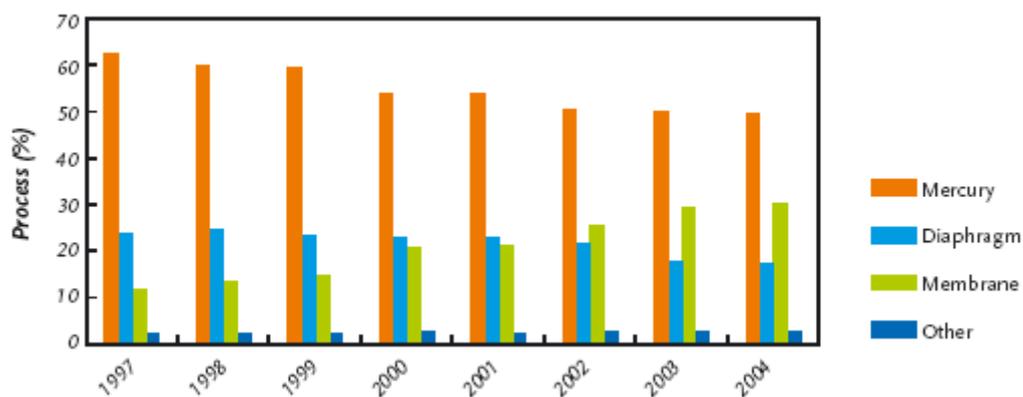


Figure 2.3. Evolution des procédés de fabrication du chlore en Europe de l'ouest (graphique extrait de Euro Chlor, 2005).

2.2.2.3 Pollutions historiques liées à l'exploitation de la filière « mercure »

Selon Euro Chlor (1998) la production de chlore par électrolyseur à cathode de mercure s'est développée au milieu des années 70 (la durée de vie d'une telle installation se situant entre 40 et 60 ans).

Il est admis que la plus grande partie de pertes de mercure se trouvent dans les différents déchets provenant du procédé (Commission Européenne, 2001b). Selon Euro Chlor (1998) De façon optimisée, le mercure est récupéré et réutilisé par une variété de techniques (recyclage, lavage, ...). Néanmoins, d'importantes émissions de mercure peuvent également se produire au niveau des eaux d'écoulement.

En de nombreux endroits, le sol des sites est contaminé par du mercure résultant du dépôt d'émissions diffuses et/ou de décharges anciennes de déchets contaminés par du mercure (Commission Européenne, 2001b). De nos jours, les déchets solides résiduels souillés sont entreposés de façon non-émissive par encapsulation et stockage souterrain profond (Euro Chlor, 1998).

2.2.3 Amalgames dentaires

2.2.3.1 Utilisation du mercure par les chirurgiens dentistes

Concernant le mercure des amalgames dentaires, la Commission européenne (2005a) écrit : « Dans la mesure où l'industrie du chlore et de la soude abandonne progressivement l'usage du mercure, les amalgames dentaires sont appelés à devenir la principale utilisation du mercure dans l'Union européenne. Il convient, dès lors, de réexaminer la question des substituts possibles. La question est d'autant plus importante que les États membres peuvent encourager les

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

substitués, mais que les dispositions relatives aux amalgames dentaires dans la directive concernant les dispositifs médicaux limitent la possibilité d'adopter des mesures restrictives à l'échelon national. »

En France, jusqu'à très récemment, la réglementation sur l'usage du mercure ne portait pas sur l'amalgame dentaire. L'arrêté du 30 mars 1998 ne réglemente pas l'usage de l'amalgame, mais seulement les déchets d'amalgame en imposant aux cabinets dentaires de se doter d'un séparateur destiné à collecter de tels déchets. La première réglementation spécifique a été adoptée par décision de l'AFSSAPS du 14 décembre 2000 (2001) qui impose l'utilisation des amalgames conditionnés en capsules prédosées.

Selon le site internet de l'AFSSAPS les amalgames dentaires sont disponibles et employés dans tous les pays du monde. Leur utilisation ne fait l'objet d'aucune interdiction formelle. Cependant, l'Allemagne, le Danemark, la Norvège et la Suède ont pris des dispositions qui limitent leur utilisation. Ces encouragements à la réduction de l'utilisation des amalgames en Norvège et leur déremboursement en Suède sont surtout motivés par la protection de l'environnement.

2.2.4 Appareils scientifiques

La place des équipements de mesure et de contrôle contenant du mercure et/ou des composés mercuriels est difficilement quantifiable. Néanmoins, Floyd *et al.* (2002) estiment que la durée moyenne de vie de tels instruments est de 10 ans. Cette donnée est à prendre en compte pour évaluer les futurs flux de mercure dans l'environnement suite à l'élimination de ces déchets²³.

2.3 Emissions non-intentionnelles

2.3.1 Grande Installation de Combustion (GIC)

Lors d'une évaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches à charbon d'une grande installation de combustion (Bonnard, 2003) une modélisation du transfert du mercure dans les différents compartiments environnementaux a été réalisée. D'après ce document, seule une partie du mercure émis dans l'atmosphère se dépose à courte distance des installations (fraction estimée à 48% de la quantité émise). Une fois déposée, une faible proportion de mercure passe sous forme organique dans le sol (estimation : 2%) et dans les compartiments végétaux et animaux (estimation : 22%).

²³ Des estimations de teneurs en mercure de ces différents appareils sont synthétisées dans le rapport rédigé par Floyd *et al.* en 2002.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

2.3.2 Industrie du ciment

Les composés volatils présents dans le charbon et/ou les déchets utilisés pour chauffer le four des cimenteries peuvent se vaporiser (absence de décomposition ou d'intégration chimique au clinker²⁴). L'incinération de déchets contenant des métaux volatils tels que le mercure peut donc entraîner une augmentation des émissions de ces substances (Commission Européenne, 2001a).

Les poussières résultant de la fabrication du ciment contiennent de faibles quantités de composés métalliques comme l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le mercure (Hg), le plomb (Pb), le thallium (Tl) et le zinc (Zn). La principale source de poussières chargées en métaux est le four, y compris les préchauffeurs, les précalcinateurs, les fours rotatifs et les refroidisseurs à clinker. Leur concentration en métaux dépend de la matière à cuire et des éléments recyclés dans le four (Commission Européenne, 2001a). Comme les métaux qui entrent dans le four n'ont pas tous le même degré de volatilité et du fait des températures élevées, les gaz chauds du four contiennent aussi des composés métalliques en phase gazeuse. L'étude du bilan matière montre que le clinker contient peu d'éléments fortement volatils, ce qui veut dire que ces substances s'accumulent dans le four (Karlsruhe II, 1996).

2.3.3 Production de chaux

Vis à vis de la production de chaux peu de données sont disponibles sur les émissions métalliques. La grande pureté de la plupart des calcaires utilisés pour la production de chaux calcique et dolomitique se traduit normalement par de faibles émissions de métaux. Des mesures effectuées sur différents types de fours à chaux démontrent des niveaux de cadmium, de mercure et de thallium nettement inférieurs à 0,1 mg.Nm⁻³ (Commission Européenne, 2001a).

2.3.4 Production de métaux non ferreux

De nombreux minerais contiennent des traces de mercure, ainsi, lors de leur traitement (généralement par « grillage ») des vapeurs de mercure sont générées. Même si ces traces de mercure sont présentes en quantités très faibles dans les minerais, les quantités de mercure générées peuvent être significatives du fait des quantités importantes de minerais traités (Floyd *et al.*, 2002).

Du fait de la grande variabilité des teneurs en mercure au sein des minerais ainsi que des différents procédés de traitement des vapeurs mis en œuvre, cette production accidentelle de mercure est difficilement chiffrable. Néanmoins, les rejets environnementaux de mercure issus de la production française de métaux

²⁴ Constituant du ciment, qui est commun à tous les ciments courants, et qui prend la forme de granules durs résultant de la cuisson d'un mélange composé d'environ 80% de calcaire et de 20% d'argile.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

non ferreux (zinc et plomb notamment) ont été estimés pour l'année 1993 à 18 tonnes (Thornton, 2001).

Selon le CITEPA (2007) les émissions de mercure liée à la production de métaux non-ferreux en France sont nulles depuis 2003, suite à la fermeture du site de METALEUROP à Noyelles Godault.

3. REJETS ET PRESENCE DANS L'ENVIRONNEMENT

Le site internet de la Commission Mixte Internationale USA/Canada reprend des informations de l'EPA qui estime approximativement que 20% des émissions de mercure proviennent de sources naturelles, 40% proviennent des retombées à l'échelle mondiale des émissions produites par les activités anthropiques passées et 40% proviennent des activités anthropiques actuelles.

Le schéma (Figure 3.1) suivant, issu d'un rapport UNEP (2005), illustre les principales interactions entre les compartiments de l'environnement.

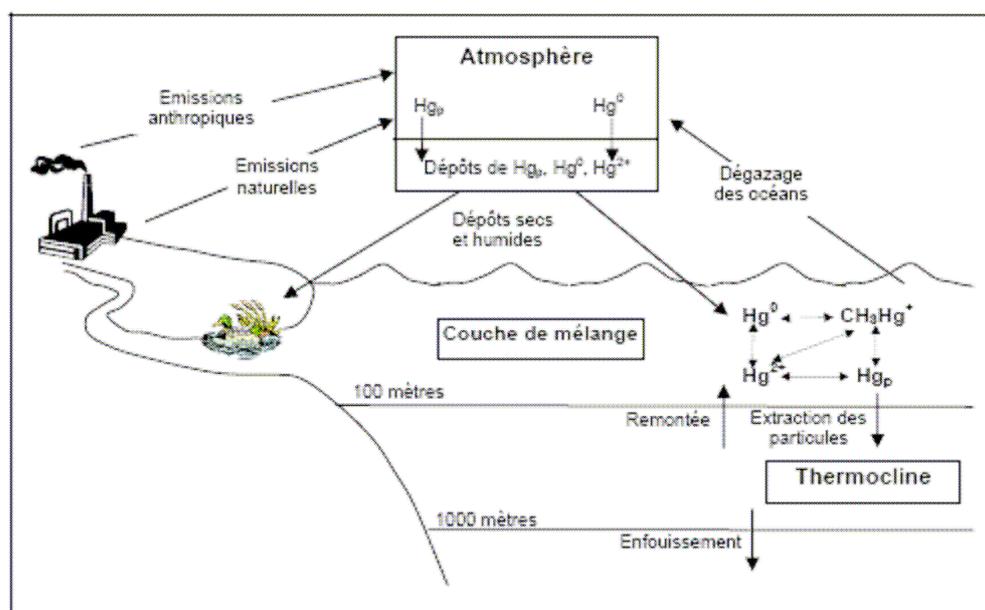


Figure 3.1. Bilan et flux estimatifs actuels de rejets du mercure ; tous les flux (flèches) et les réservoirs (dans les cadres) sont exprimés en tonnes métriques (schéma UNEP, 2005 adapté de Lamborg et al., 2002 ; Mason et al., 1994).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

En moyenne, au niveau mondial, les émissions de mercure d'origine anthropique ont entraîné des taux de déposition qui sont aujourd'hui 1,5 à 3 fois supérieurs à ceux de l'ère préindustrielle (PNUE, 2002). Dans et autour des zones industrielles, les taux de déposition ont crû de 2 à 10 fois au cours des deux derniers siècles (PNUE, 2002). Quoi qu'il en soit, la problématique « rejet de mercure et présence dans l'environnement » a été intensément étudiée. Dans ce paragraphe, nous ne nous appuyons que sur les références les plus récentes et les plus proches géographiquement de notre zone d'étude.

3.1 Présence dans l'environnement

3.1.1 Forme chimique dans l'environnement

Le mercure, pour une part naturellement présent dans l'environnement, existe sous de nombreuses formes. Sous sa forme pure, on l'appelle soit « mercure élémentaire », soit « mercure métallique » (symbolisé par Hg(0) ou Hg⁰). Le mercure se trouve rarement dans la nature sous forme de métal liquide pur ; il y est plutôt présent sous forme de composés ou de sels inorganiques. On trouve des composés du mercure monovalent et divalent (symbolisés par Hg(I) et Hg(II) ou Hg₂⁺, respectivement). Le Hg(II) forme de nombreux composés organiques et inorganiques.

Selon l'UNEP (2005), le méthylmercure peut être formé dans l'environnement par métabolisation microbienne (processus biotiques) ou par des processus chimiques où n'intervient aucun organisme vivant (processus abiotiques). Toutefois, on pense généralement que le méthylmercure est essentiellement formé dans la nature par des processus biotiques²⁵. Selon le site internet de l'OCDE, ce composé mercuriel est particulièrement préoccupant car il peut se concentrer (par bioaccumulation et bioamplification) dans les tissus de nombreux poissons comestibles d'eau douce ou d'eau salée ainsi que dans les tissus des mammifères marins, où il peut atteindre des concentrations des milliers de fois supérieures à celles enregistrées dans le milieu aquatique (UNEP, 2005). À l'heure actuelle, on ne connaît pas d'importantes sources anthropiques directes de méthylmercure. Cependant, les rejets anthropiques contribuent indirectement à la présence de méthylmercure dans l'environnement via la transformation d'autres formes de mercure en méthylmercure. Néanmoins, des recherches récentes ont montré que du méthylmercure peut être libéré directement par les décharges municipales

²⁵ La formation de méthylmercure en milieu aquatique varie en fonction d'un grand nombre de facteurs environnementaux : activité microbienne, concentration de mercure biodisponible, ..., facteurs dépendant eux-mêmes de paramètres tels que la température, le pH, le potentiel redox et la présence d'agents complexants inorganiques et organiques (Ullrich *et al.*, 2001).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

(Lindberg *et al.*, 2001) et par les stations d'épuration (Sommar *et al.*, 1999), mais l'importance globale de ces sources demeure encore incertaine.

3.1.2 Présence dans l'air

Au niveau européen, des moyennes de concentrations atmosphériques annuelles de mercure peuvent être calculées à l'aide d'un modèle (EMEP²⁶). La figure 3.2. présente une représentation cartographique de ces calculs (carte extraite du site internet de l'Office Fédéral de la Statistique, Suisse). De la sorte, les zones fortement impactées par la présence de mercure atmosphérique peuvent être identifiées.

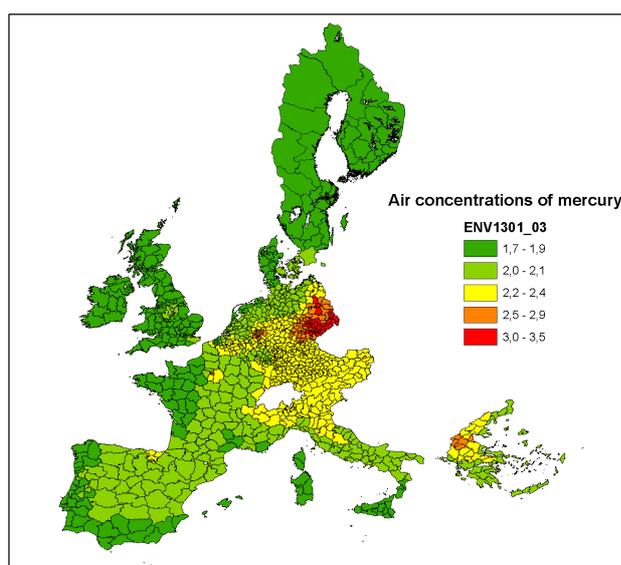


Figure 3.2. Moyennes de concentrations atmosphériques annuelles de mercure en 2001 ; exprimées en ng.m^{-3} par le modèle EMEP (extrait du site internet de l'Office Fédéral de la Statistique, Suisse).

Selon Pirrone (2006), les émissions de mercure dans l'atmosphère sont de l'ordre de 6000 à 6600 tonnes par an avec une part des émissions naturelles estimées entre 800 et 3000 tonnes par an. La ré-émission du mercure préalablement déposé et provenant de sources naturelles et anthropiques est difficilement quantifiable.

²⁶ EMEP : Modèle géoréférencé sur le continent européen décrit par un maillage de 150 km par 150 km. Il simule 5 compartiments atmosphériques et 5 compartiments dans le sol (Shatalov *et al.*, 2001).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

3.1.3 Devenir des rejets dans l'air

Selon l'UNEP (2005), la chimie atmosphérique du mercure fait intervenir plusieurs interactions :

- ♦ réactions en phase gazeuse ;
- ♦ réactions en phase aqueuse (dans les gouttelettes de nuage et de brouillard et les particules d'aérosol en déliquescence) ;
- ♦ partage du mercure élémentaire et des espèces de mercure oxydé entre la phase gazeuse et la phase solide ;
- ♦ partage entre la phase gazeuse et la phase aqueuse ;
- ♦ partage entre la phase solide et la phase aqueuse dans le cas des matières particulaires insolubles piégées par les gouttelettes de brouillard et de nuage.

Rappelons que la spéciation du mercure dans l'atmosphère joue un rôle important dans le transport du mercure à grande distance ainsi que dans les mécanismes de dépôt de cette substance.

Selon l'UNEP (2005), le changement de forme chimique du mercure (ou spéciation) a un effet sur le transport du mercure dans et entre les compartiments de l'environnement, notamment l'atmosphère et les océans. Par exemple, l'espèce est un facteur déterminant en ce qui concerne la distance que le mercure peut parcourir à partir de sa source d'émission dans l'air. Selon le Programme des Nations Unies pour l'environnement traitant du mercure (PNU, 2005), le mercure adsorbé sur des particules et les composés ioniques du mercure seront déposés sur le sol et dans l'eau à proximité de leur source (transport d'échelle locale ou régionale), tandis que le mercure élémentaire en phase vapeur sera transporté à l'échelle de l'hémisphère ou de la planète.

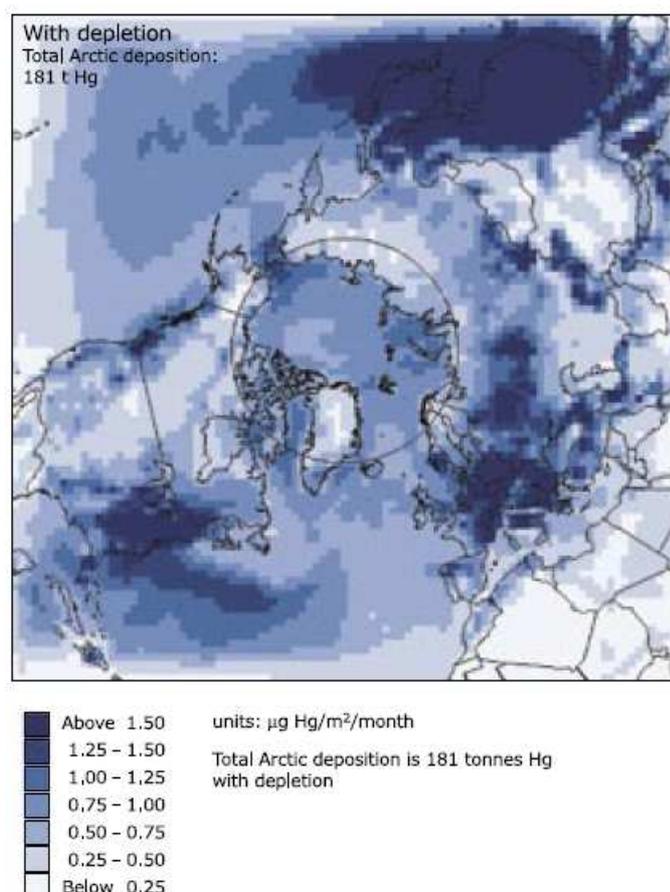
D'autres formes de mercure, telles que le mercure inorganique, se redéposent dans un rayon approximatif de 100 à 1 000 kilomètres autour de leur point d'émission. Cependant, la distance de transport atmosphérique du mercure dépend également des conversions chimiques que cet élément subit au cours de son transport. A titre d'exemple, il a été estimé par modélisation que 20% du mercure anthropogénique déposé en Europe est originaire d'un autre continent.

La figure 3.3. extraite de AMAP (2005) présente la distribution mensuelle des dépôts de mercure sur une partie de l'hémisphère Nord au début des années 2000.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Figure 3.3. Distribution des dépôts de mercure sur une partie de l'hémisphère Nord (AMAP ; 2005).



Cette carte permet de situer les sites où sont présents les plus importants dépôts de mercure (généralement proches de régions émettrices) mais également la présence de dépôts non négligeables dans les régions arctiques. Ceci illustre le transport du mercure sur toute la surface du globe et le fait qu'il s'agisse d'un problème global à envisager au niveau mondial.

La figure 3.4. extraite du site internet Msc-e présente plus précisément la distribution des dépôts de mercure sur l'Europe. Cette modélisation a été réalisée par les groupes de travail EMEP de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

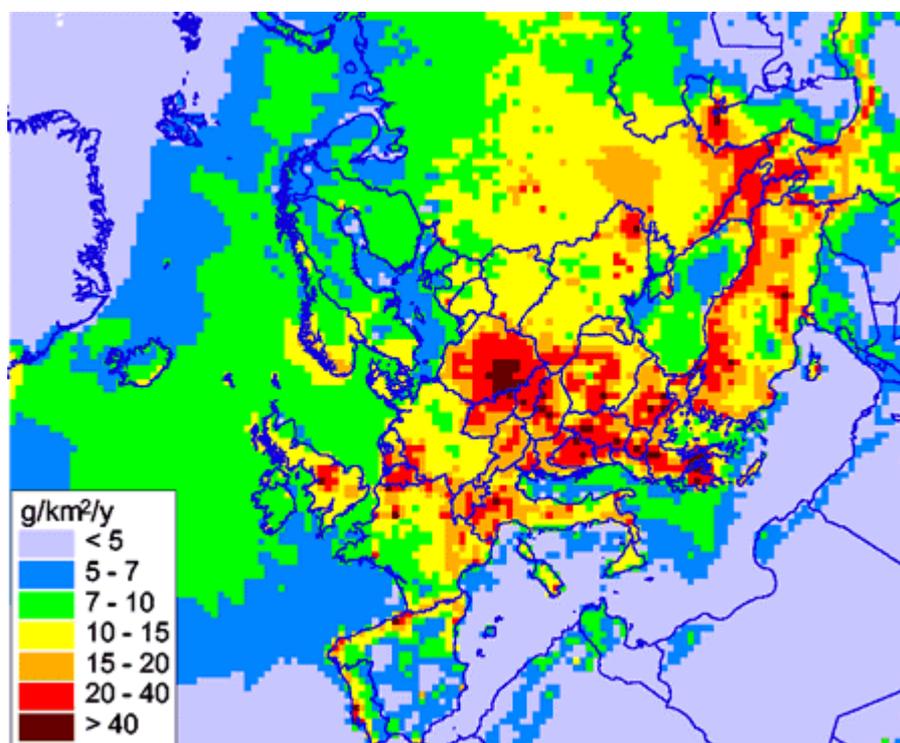


Figure 3.4. Distribution des dépôts annuels totaux de mercure (secs et humide) sur l'Europe en 2005 (site internet Msc-e).

Galsomiès *et al.* (1999) et Gombert *et al.* (2005) ont dressé des inventaires (non exhaustifs) des études réalisées en France sur les dépôts métalliques de 1990 à 2003. Certains des études reprises dans ces publication concernent le mercure. Dans ce cas, la nature du dépôt considéré est précisée.

3.1.4 Présence dans l'eau

Selon INERIS (2003), le mercure peut se retrouver sous différentes formes physico-chimiques dans le milieu aquatique, le Hg élémentaire, le Hg divalent Hg(II) libre ou complexé à des ligands inorganiques ou organiques et le mercure méthylé (MeHg). Selon Chery (2006), « la concentration en mercure dans les eaux souterraines ne dépasse généralement pas $1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Les valeurs se situent le plus souvent autour de $0,1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ».

D'après INERIS (2003), « Le pourcentage de MeHg dans les eaux douces et marines est généralement peu élevé (<1%). Cependant, des concentrations élevées sont

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

rencontrées dans les eaux anoxiques de l'hypolimnion²⁷ de lacs. Le pourcentage de MeHg peut aussi être plus élevé dans des systèmes contaminés par le mercure (Hg), comme par exemple dans le réservoir de Petit Saut en Guyane française où le MeHg atteint 25% du mercure total dans les eaux profondes et dans le fleuve Synnamary en aval du réservoir). »

Comme le montre le tableau 3.1 extrait d'une publication de l'INERIS (2003), la pollution des eaux dans les fleuves et les eaux cotières est relativement bien documentée.

Tableau 3.1. Concentration en mercure total (dissous et particulaire) dans les eaux fluviales et côtières

	Mercure dissous (ng.L ⁻¹)	Mercure dans les particules en suspension (mg.kg ⁻¹ , poids sec)
Mer du Nord	0,2 - 1,0	
Manche	0,3 - 0,8	
Seine	0,5 - 11,9	0,44 - 2,69
Loire	0,4 - 2,0	0,10 - 0,50
Rhône	0,3 - 3,3	0,08 - 1,56
Fleuve Synnamary (Guyane)	0,44 - 2,5	
Rivière Inini (Guyane)	0,7 - 17,0	0,17 - 1,27

D'après le projet FOREGS, les teneurs en Mercure dans les sédiments de cours d'eau en Europe vont de 0.00074 mg Hg.kg⁻¹ à 13.6 mg Hg.kg⁻¹ avec une valeur moyenne de 0.081 mg Hg.kg⁻¹ (données rapportées par SOCOPSE, 2008).

3.1.5 Présence dans les roches

Chery (2006) indique, qu'en France, le mercure est présent sous forme de sulfure de mercure, le cinabre, qui est un minéral abondant dans le massif armoricain.

²⁷ L'hypolimnion est la couche thermique la plus profonde d'un lac, toujours froide et à température peu variable; elle est située selon la saison en dessous de 15 à 30m de profondeur.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

3.1.6 Evolution temporelle des rejets européens dans les eaux de surface

La figure 3.5. présente l'évolution dans le temps des rejets de mercure (et de cadmium) en direction des eaux de surface européenne (d'après EEA, 2003). Ces données représentent les moyennes des concentrations nationales annuelles moyennes (originaires de Belgique, de France, d'Allemagne, d'Irlande, des Pays Bas et du Royaume-Uni pour la courbe du mercure).

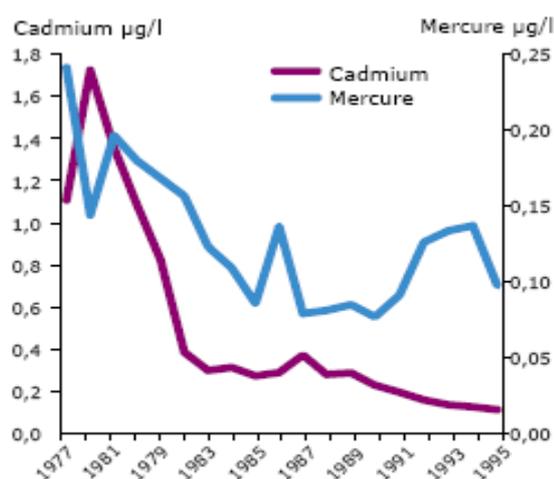


Figure 3.5. Concentration de cadmium et de mercure dans les stations fluviales (d'après EEA, 2003).

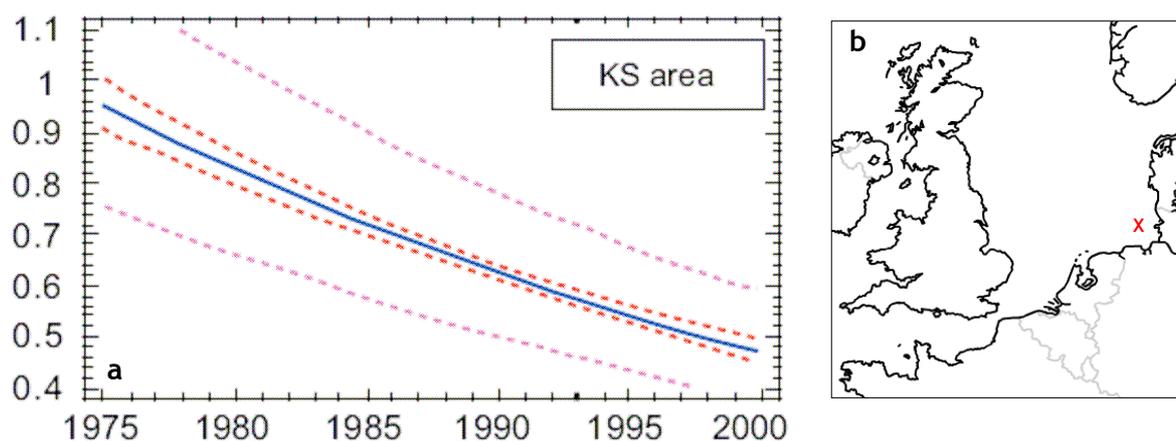
3.1.7 Présence dans les sédiments marins

Les seules informations disponibles quant aux concentrations de mercure des sédiments marins ont été obtenues en Mer du Nord (Helgoland ; figure 3.6). Elles démontrent, qu'au sein des sédiments fins locaux, les teneurs en mercure diminuent graduellement depuis les années 70.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Figure 3.6. a : évolution des teneurs sédimentaires en mercure (mg.kg^{-1}); b : localisation du point de prélèvement.



3.1.8 Présence dans les sols

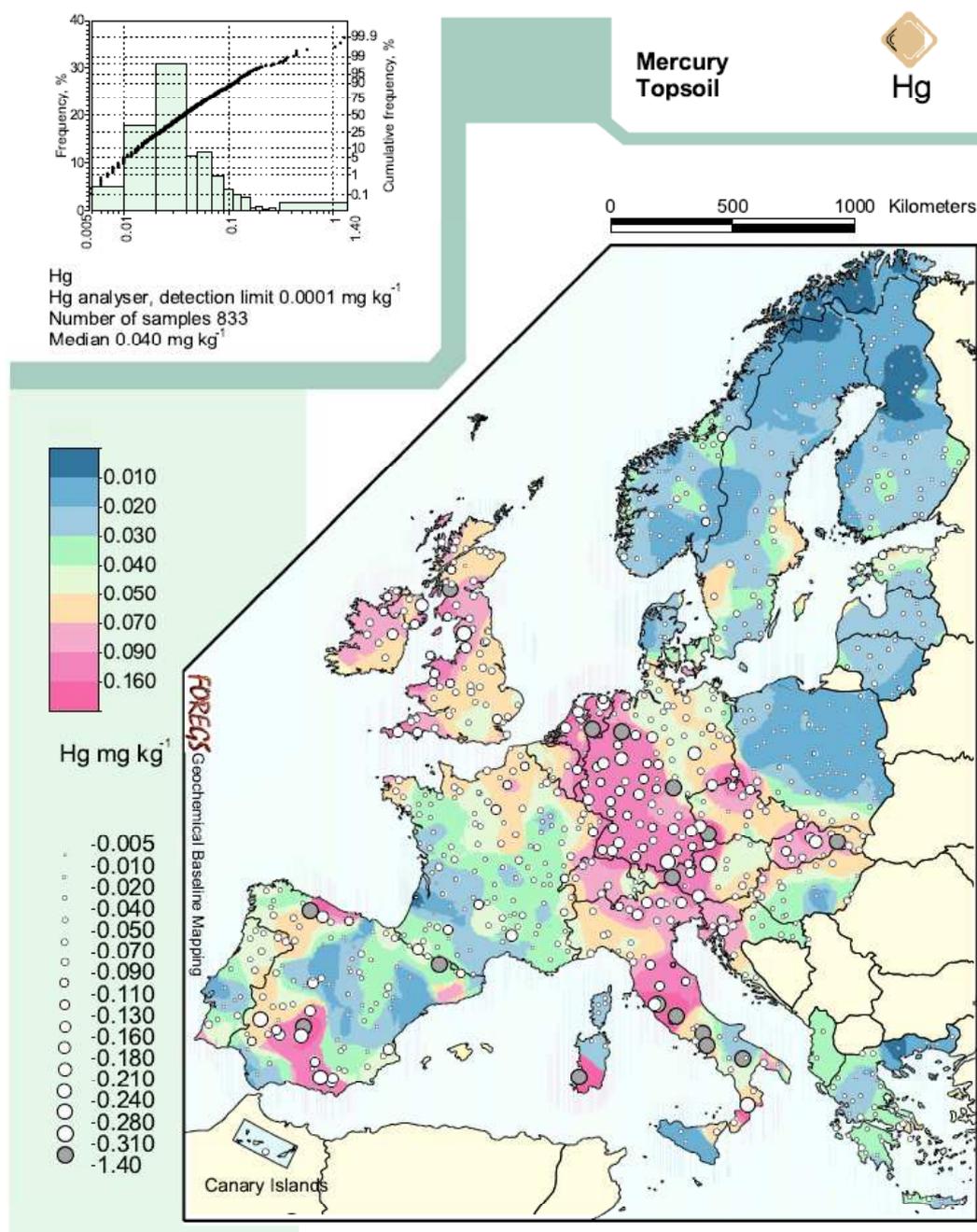
D'après la base de données FOREGS (rapportée dans SOCOPSE, 2008), les teneurs en mercure dans les sols européens sont dans les gammes suivantes :

- ♦ pour le topsoil, elles sont comprises entre 0,005 et 1,35 mg Hg.kg^{-1} avec une moyenne à 0.061 mg Hg.kg^{-1} .
- ♦ Pour la couche de sub-surface, les niveaux vont de 0.002 à 0.93 mg Hg.kg^{-1} avec une moyenne de 0,035 mg Hg.kg^{-1} .

La figure 3.7 ci-après est une représentation cartographique des teneurs dans le topsoil en Europe de l'Ouest.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Figure 3.7. Représentation cartographique des teneurs de mercure dans le topsoil en Europe de l'Ouest.



MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

3.1.9 Flux depuis les sols

Les émissions de mercure par volatilisation à partir des sols sont très difficilement estimables et les estimations expérimentales sont souvent complexes à mettre en œuvre et d'un coût prohibitif (Böhme *et al.*, 2005). C'est pourquoi peu de données sont disponibles. Néanmoins, de nouvelles méthodes de mesure *in-situ* sont en cours de développement (Böhme *et al.*, 2005) et devraient apparaître sur le marché prochainement.

3.1.10 Flux vers les eaux superficielles

Les chiffres présentés par le tableau 3.2 sont repris d'un rapport de l'Agence de l'eau Seine-Normandie (2004). Ils indiquent l'origine et l'importance des différents flux de mercure vers les eaux superficielles du bassin Seine-Normandie (le flux total moyen de mercure sur ce bassin est estimé à 730 kg.an⁻¹).

Tableau 3.2. Origine des flux de métaux vers les eaux superficielles du bassin Seine-Normandie (pourcentages calculés ; d'après AESN, 2004).

	Mercure (en%)
Rejets industriels ponctuels	14
Rejet des stations d'épuration (ponctuel)	26
Ruissellement urbain par temps de pluie ²⁸ (diffus)	45
Fuites agricoles par érosion et drainage (diffus)	12

La Commission Internationale pour la Protection du Rhin (2000) présente un inventaire des émissions vers l'eau de substances dangereuses. Dans le cas du mercure, les émissions d'origine diffuse sont plus importantes que les émissions d'origine ponctuelle (cf. figure 3.8).

²⁸ Pour le mercure, environ la moitié de toutes les émissions d'origine diffuse proviennent des eaux d'épisodes pluviaux (Commission Internationale pour la Protection du Rhin, 2000).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

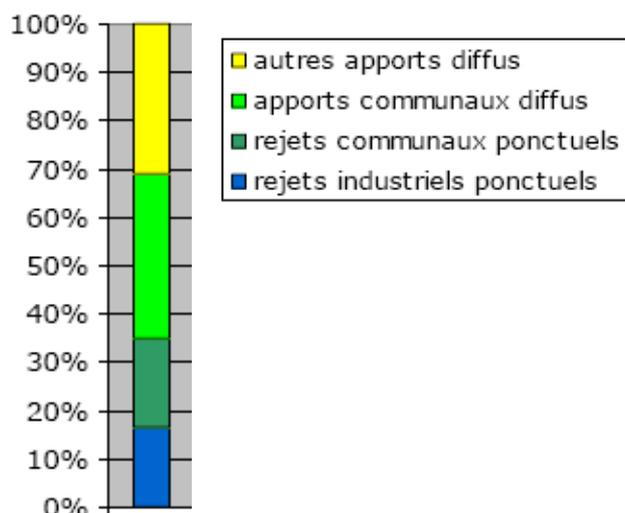


Figure 3.8. Présentation synoptique des émissions de mercure d'origine ponctuelle et diffuse dans les eaux de surface du bassin du Rhin (d'après la Commission Internationale pour la Protection du Rhin ; 2000).

3.2 Rejets naturels

Selon l'INERIS (2005), l'importante volatilité du mercure fait que sa principale source dans l'environnement atmosphérique reste le dégazage de l'écorce terrestre, qui en rejette annuellement plusieurs milliers de tonnes. L'activité volcanique constitue aussi une source naturelle de mercure importante. A ces deux sources naturelles importantes il convient d'ajouter les feux de forêts, les réactions chimiques naturelles (photoréduction, formation biologique) ainsi que les sources hydrothermales (OECD, 1995).

De nos jours, à l'échelle mondiale, les rejets naturels sont inférieurs aux rejets anthropiques : Lindquist (1991) évalue au début des années 90 les émissions naturelles moyennes à 3 000 t.an⁻¹ et les émissions anthropogéniques à 4 500 t.an⁻¹.

3.3 Principales sources de rejets anthropiques

Selon SHD (2004), le principal secteur d'émission de mercure est lié à l'industrie manufacturière (tableau 3.3). Ce constat est d'ailleurs confirmé par Algros *et al.* (2005) qui indiquent que le mercure et ses composés sont retrouvés dans les effluents urbains avec une fréquence comprise entre >0% à 30% et dans la gamme >30% à 60% pour les effluents industriels.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Tableau 3.3. Principaux secteurs d'émission de mercure en France en 2002 (selon SHD, 2004 modifié) ; émissions dirigées vers l'eau, l'air et les produits.

Secteur d'émission	Pourcentage d'émission	Tonnes émises
Industrie manufacturière	49	6,8
Transformation d'énergie	31	4,3
Secteur résidentiel (incinération de déchets)	13	1,8
Industrie du Chlore ²⁹	7	1,0
Total	100	13,9

Au niveau américain (site internet de l'EPA) on identifie les mêmes sources d'émission : installations d'incinération des déchets urbains, installations d'incinération des déchets médicaux, installations d'incinération des déchets dangereux spéciaux et les chaudières industrielles. En outre, certains procédés industriels, et plus particulièrement les installations de chlore et les cimenteries, sont également cités bien que leurs émissions soient considérablement inférieures à celles des installations d'incinération (Commission Européenne, 2001b).

D'autres sources d'émission de mercure de moindre importance peuvent être listées : industries du fer et de l'acier ; extraction et raffinage de l'or ; fabrication de thermomètres et autres instruments de précision ; amalgames dentaires ; traitement des déchets, ...

Le tableau 3.4 (issu de SOCOPSE, 2008) est une estimation des contributions relatives des différentes sources de mercure aux émissions globales, pour les compartiments Air, Eau, et Sols.

²⁹ L'annexe 1 présente un panorama détaillé des rejets de mercure (tous secteurs de l'environnement confondus) par l'industrie du chlore.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Tableau 3.4. Estimation des contributions relatives des différentes sources de mercure aux émissions globales, pour les compartiments Air, Eau, et Sols (issus de SOCOPSE, 2008).

Compartiment	Sources	Importance (% des émissions totales de Hg dans l'air en Europe, 2000)
Air	Combustion des combustibles fossiles	47.6
	Production de ciment	12.6
	Production primaire de métaux non-ferreux	6.5
	Production secondaire de métaux non-ferreux	Très faible
	<i>Production d'acier et de fonte (en incluant la production de coke)</i>	5.2
	Principaux usages du Mercure	17
	Incinération de déchets	4.8
	Crematoriums	Très faible
	Transports routiers et autres sources mobiles	Très faible
	Stations d'épuration urbaines	8
Eau	Combustion des combustibles fossiles (y compris les tours de refroidissement associées)	35
	Mines	Faible contribution
	Production primaire de métaux non-ferreux par procédé hydrométallurgique	Faible
	Production de fonte et d'acier	Faible
	Production industrielle de métaux, produits chimiques, raffinage	25
	Utilisation principale du mercure : amalgames, industrie du chlore-alkali	Faible
	Transports routiers et autres sources mobiles, machines de chantier	Faible
	Agriculture	Très faible
	Dépôts atmosphériques sur les mers et les bassins versants	25
	Remise en suspension de sédiments	Probablement très faible

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Compartiment	Sources	Importance (% des émissions totales de Hg dans l'air en Europe, 2000)
Sols	Mise en décharges de différents déchets agroalimentaires et agricoles	10
	Mise en décharges de déchets urbains	Faible
	Epandage de boues d'épuration urbaines	5
	Déchets d'origine industrielle (sauf agroalimentaire)	10
	Déchets d'incinération et diverses cendres	30
	Perte de divers produits	10
	Dépôts atmosphériques	30

3.4 Rejets anthropiques dans l'air

3.4.1 Rejets dans l'air en France

Le mercure élémentaire et ses composés organiques sont volatils. Les composés inorganiques le sont très peu (INERIS, 2005). En 2002, le CITEPA (2005) estime que les émissions de mercure vers l'air représentent 70% des émissions totales de ce métal. Plus en détail, la figure 3.9 illustre les évolutions des émissions et de leurs répartitions par secteur au cours des 15 dernières années. Notons qu'un récent rapport du CITEPA (2008) indique que les émissions atmosphériques de mercure en 2006 ont été de 7,9 t.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

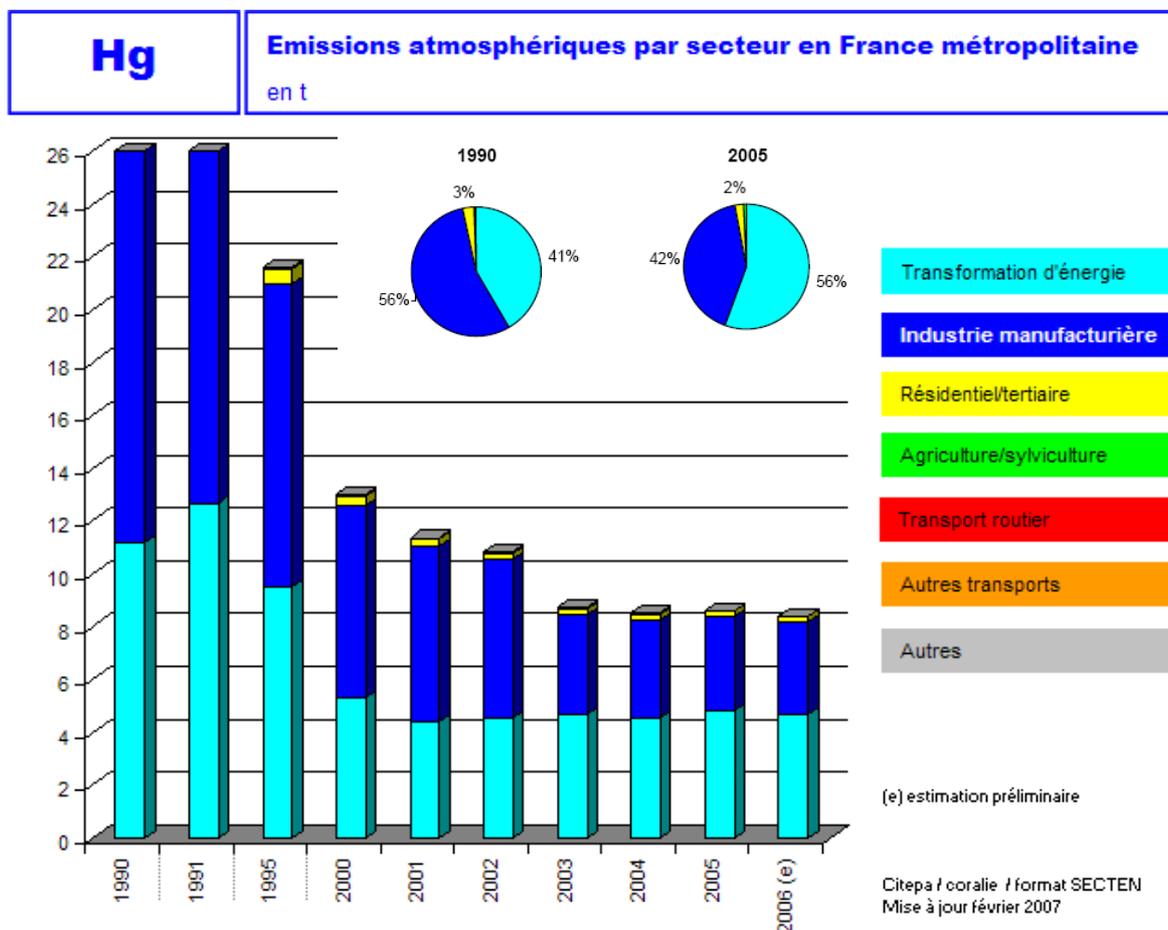


Figure 3.9. Emissions de mercure vers l'air en France métropolitaine (d'après CITEPA, 2007).

(d'après CITEPA, 2007).

Le rapport CITEPA (2007) sur les émissions atmosphériques de métaux lourds commente les données précédemment illustrées :

« En 2005, les émissions de mercure représentent 8,6 tonnes. Deux secteurs contribuent principalement aux émissions : la transformation d'énergie et l'industrie manufacturière avec respectivement 56% et 42% des émissions en France métropolitaine pour l'année 2005.

Les autres secteurs ont une contribution nulle ou très faible.

Dans le secteur de l'industrie manufacturière, les principaux sous-secteurs émetteurs sont en 2005 :

- ◆ le secteur de la chimie (39% des émissions), en particulier la production de

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

chlore (environ 22% des émissions du secteur de l'industrie manufacturière).

- ◆ le secteur du traitement des déchets (incinération) avec 25% des émissions,

Ces émissions sont en baisse depuis 1990, date à laquelle les émissions de ce polluant étaient de 27 t, soit une diminution de 68% entre ces deux années. Cette baisse s'explique en grande partie par l'amélioration des performances de l'incinération des déchets mais aussi du fait :

- ◆ de la limitation ou de l'interdiction de l'emploi de ce métal dans les piles et les thermomètres médicaux,
- ◆ du tri sélectif des déchets ;
- ◆ de meilleures optimisations des procédés de la production de chlore. »

3.4.2 Rejets de l'industrie dans l'air en Europe

Au niveau européen, le site internet EPER (Figure 3.10) synthétise les émissions de mercure et de ses composés (en tonne et en pourcentage) vers l'air (année 2004) pour plus de 600 installations industrielles.

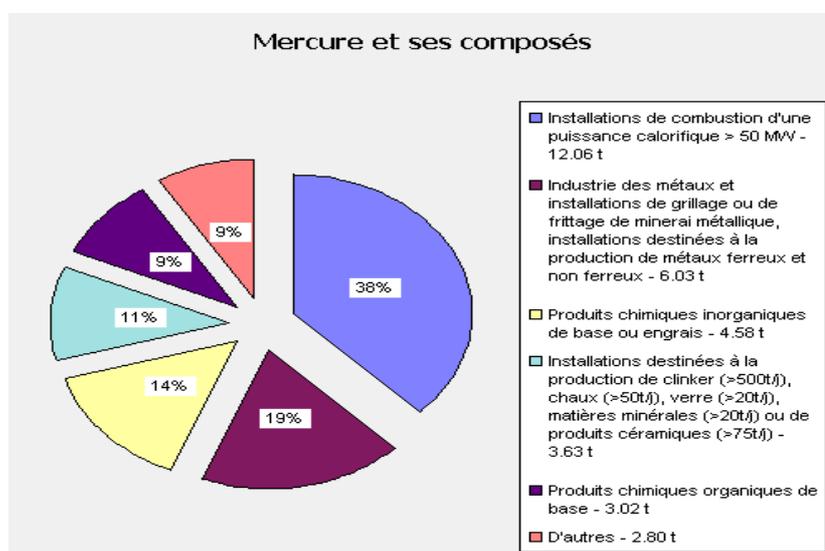


Figure 3.10. Emissions 2004 de mercure vers l'air en Europe le site internet EPER).

(d'après

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Ainsi, au niveau européen des émissions industrielles à l'atmosphère de plus de 32 t de mercure et de ses composés ont été mises en évidence. Près de 13% de ces émissions étaient réalisés par 82 sites industriels français (soit 4,16 t)³⁰.

Bien que les secteurs d'activités ne soient pas directement comparables entre les données françaises et européennes, on note que ce sont les deux même secteurs qui contribuent majoritairement aux émissions : le secteur de la transformation d'énergie et de l'industrie manufacturière.

3.4.3 Rejets de l'industrie dans l'air en France

Au niveau français, les rejets de mercure dans les différents milieux, et en particulier l'air, pour les industries soumises à déclaration sont collectés sur le site de l'IREP.

La carte 3.11 extraite de ce site (<http://www.irep.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php>) permet de localiser les différents sites émetteurs de mercure dans l'air en France.

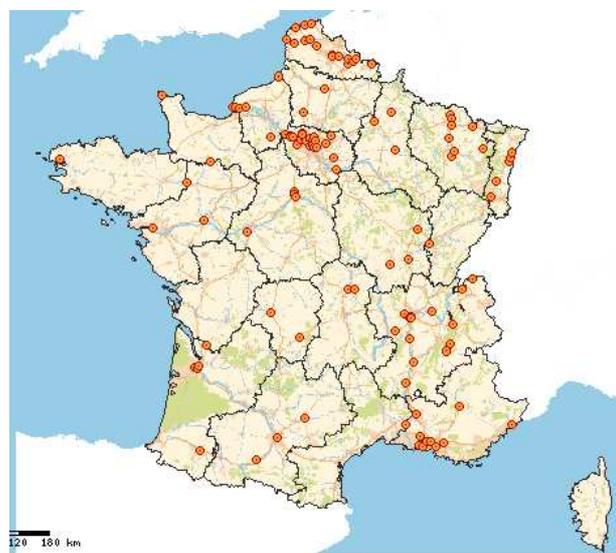


Figure 3.11. Carte des industries soumises à déclaration émettant du mercure dans l'air (site internet IREP).

³⁰ D'après les informations que nous avons regroupées, les 111 sites industriels français considérés par EPER équivalent à près de 50% des industries françaises émettrices de mercure (par rapport aux données CITEPA pour 2004).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Une information plus importante sur les entreprises concernées est disponible sur le site de l'IREP et permettrait d'approfondir les connaissances sur l'activité et les rejets de ces entreprises.

Dans le tableau 3.5 ci-dessous figurent les émissions de mercure dans l'air pour les industries soumises à déclaration. L'obligation de déclaration par les exploitants des installations industrielles et des élevages est fixée (polluants concernés et seuils de déclaration) par l'arrêté du 24 décembre 2002 relatif à la déclaration annuelle des émissions polluantes des installations classées soumises à autorisation (JO du 07 mars 2003).

Tableau 3.5. Emissions atmosphériques de mercure des installations soumises à déclaration de 2003 à 2006 (données BDREP).

Année	Emissions Hg (t.an ⁻¹)
2003	3,0
2004	4,6
2005	4,6
2006	4,6

La comparaison de ces chiffres d'émissions des installations classées à ceux du CITEPA (estimation de 8.6 t.an⁻¹) concernant la totalité des émissions atmosphériques françaises montre que, **pour l'année 2006, plus de 50% de la totalité des rejets atmosphériques de mercure sont originaires des installations classées.**

Sur la période 2004-2006, les émissions de mercure dans l'atmosphère des installations soumises à déclaration sont demeurées stables et voisines de 4600 kg.an-1. Selon les données du registre des émissions polluantes, cinq grands secteurs émetteurs se dégagent et représentent plus de 99% des émissions totales :

- ◆ Les déchets et leur traitement (environ 32%)
- ◆ La chimie, parachimie, pétrole (25%)
- ◆ La sidérurgie, métallurgie, coke (20%)
- ◆ Les industries minérales (10%)
- ◆ L'énergie (5%)

Le graphique ci-après (figure 3.12) montre l'évolution des émissions atmosphériques de mercure pour ces cinq secteurs.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

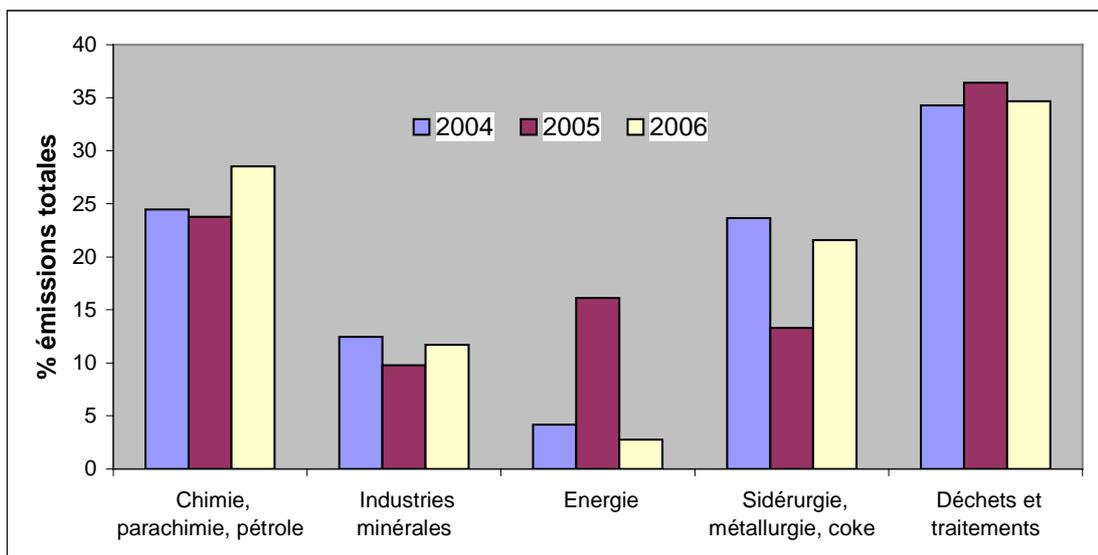


Figure 3.12. Evolution des émissions atmosphériques de mercure pour les cinq principaux secteurs pour la période 2004-2006.

Les émissions de certains secteurs sont particulièrement variables, principalement le secteur de l'énergie (environ 4% en 2004 et 2006 et 15% en 2005) et celui de la sidérurgie, métallurgie, coke (environ 20% en 2004 et 2006 et 15% en 2005).

Ces chiffres ne correspondent pas avec les valeurs du CITEPA sur la ventilation des émissions de mercure dans les différentes catégories. La définition des différents secteurs est à l'origine de ces différences.

Une description plus fine des secteurs émettant du mercure dans l'air est présentée dans le tableau 3.6.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Tableau 3.6. Répartition par sous secteurs d'activité des émissions atmosphériques de mercure pour les industries soumises à déclaration (données BDREP).

	Sous-secteur d'activité	Masse émise (kg.an ⁻¹)	% des émissions dans le secteur	% des émissions totales		Nombre d'émetteurs
				2005	2006	
Déchets et traitement (34,6%)	Incinération	1021,2	64,23	11,62	22,25	43
	Traitement de déchets urbains	353,1	22,21		7,69	0
	Traitement de déchets industriels	109,2	6,87	1,02	2,38	10
	Stations d'épuration urbaines	54,2	3,41	1,91	1,88	9
	Déchets et traitements	40,2	2,53	0,93	0,88	9
	Décharges d'ordures ménagères	8,2	0,52	0,15	0,18	3
	Traitements physico-chimiques	3,4	0,22	0,11	0,08	5
	Regroupement, reconditionnement de déchets	0,3	0,02	0,02	0,01	2
	Mise en décharge	0,1	0,01	0,04	0,00	1

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

	Sous-secteur d'activité	Masse émise (kg.an ⁻¹)	% des émissions dans le secteur	% des émissions totales		Nombre s d'émetteurs	
				2005	2006	2005	2006
Chimie, Parachimie, Pétrole (28,5%)	Industrie du chlore	392,8	30,00	7,40	8,56	4	
	Raffinage de pétrole, carburants et lubrifiants	336,1	25,67	2,23	7,32	4	
	Pétrochimie carbochimie organique	295,1	22,54	2,81	6,43	5	
	Chimie, phytosanitaire, pharmacie	266,8	20,38	1,08	5,81	10	
	Chimie minérale inorganique autre	10,9	0,83	0,00	0,24	1	
	Industrie pharmaceutique	6,9	0,52	0,04	0,15	2	
	Fabrication de matières plastiques de base	0,5	0,04	0,01	0,11	2	
	Phytosanitaires, pesticides (fabrication de)	0,1	0,01	0,00	0,00	1	
Sidérurgie, Métallurgie, Coke (21,6%)	Sidérurgie, métallurgie, coke	206,6	20,88	2,76	4,50		
	Ferro-alliages, abrasifs (industrie des)	202,2	20,43	4,03	4,41		

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Sous-secteur d'activité	Masse émise (kg.an ⁻¹)	% des émissions dans le secteur	% des émissions totales		Nombre d'émetteurs
			2005	2006	
Production d'acier brut, aciéries	199,9	20,20	2,92	4,35	
Sidérurgie, première transformation	173,8	17,56	2,30	3,79	
Fonderie des métaux ferreux	87,4	8,83	0,70	1,90	
Fonderie des métaux non ferreux	69,6	7,03	0,15	1,52	
Métallurgie du plomb et du zinc	28,5	2,88	0,22	0,62	
Production de fontes (haut fourneau)	8,4	0,84	0,21	0,18	
Cokéfaction, usines à gaz	7,3	0,74	0,06	0,16	
Fonderie et travail des métaux	2,8	0,28	0,04	0,06	
Métallurgie de l'aluminium	1,2	0,13	0,07	0,03	
Première transformation de l'acier	1,2	0,12	0,03	0,03	

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

	Sous-secteur d'activité	Masse émise (kg.an ⁻¹)	% des émissions dans le secteur	% des émissions totales		Nombre s d'émetteurs	
				2005	2006	2005	2006
	Métallurgie des métaux non ferreux, affinage	0,7	0,07	0,02	0,02	0	0
	Travail des métaux, chaudronnerie, poudres	0,1	0,01		0,00	0	0
	Autres métaux non ferreux (métallurgies)	0,0	0,00		0,00	0	0
Industries Minérales (11,7%)	Fabrication de chaux, ciment, plâtre	403,0	75,00	7,69	8,78	29	29
	Industrie du verre	67,1	12,49	0,78	1,46	14	14
	Industries minérales	64,8	12,05	1,13	1,41	1	1
	Fabrication d'autres matériaux de construction	0,8	0,16	0,17	0,22	1	1
	Fabrication de produits céramiques	0,8	0,15		0,22	0	0
	Céramique, verre, matériaux de construction	0,8	0,14		0,22	0	0
	Chantiers, construction, bitumes, enrobés	0,1	0,01	0,00	0,00	1	1

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

	Sous-secteur d'activité	Masse émise (kg.an ⁻¹)	% des émissions dans le secteur	% des émissions totales		Nombre d'émetteurs	
				2005	2006	2005	2006
Energie (2,75%)	Centrales électriques thermiques	126	99,79	13,87	2,75	1	1
	Production de chaleur autres	0,2	0,16	0,00	0,00	1	1
	Chaufferies urbaines	0,065	0,05	0,00	0,00	1	1

Au travers de ces résultats ; il apparaît que 11 sous secteurs regroupent près de 84% des émissions totales de mercure en 2006.

Plus de 30% des rejets atmosphériques de mercure en 2006 ont été produits par les 40 incinérateurs et les 87 centres de traitement des déchets urbains. Comme le montre Research EU (2007), une collecte spécifique ou un recyclage de certains déchets (par exemple les déchets d'équipements électriques et électroniques) permettrait de réduire les émissions atmosphériques.

Pris de façon conjointe, les secteurs de l'industrie du chlore, du raffinage de pétrole - carburants - lubrifiants, de la pétrochimie - carbochimie - organique et de la chimie - phytosanitaire - pharmacie ont produit plus de 28% des émissions.

Le secteur de la sidérurgie - métallurgie - coke a représenté près de 22% des rejets de mercure dans l'air en 2006 avec en particulier les industries des ferro-alliages - abrasifs et les aciéries.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

3.5 Rejets anthropiques dans l'eau

3.5.1 Rejets industriels dans l'eau en Europe.

Au niveau européen, le site internet EPER présente les émissions directes (figure 3.13a) et indirectes³¹ (figure 3.13b) de mercure et de ses composés (en tonne et en pourcentage) vers l'eau (année 2004) pour plus de 600 installations industrielles.

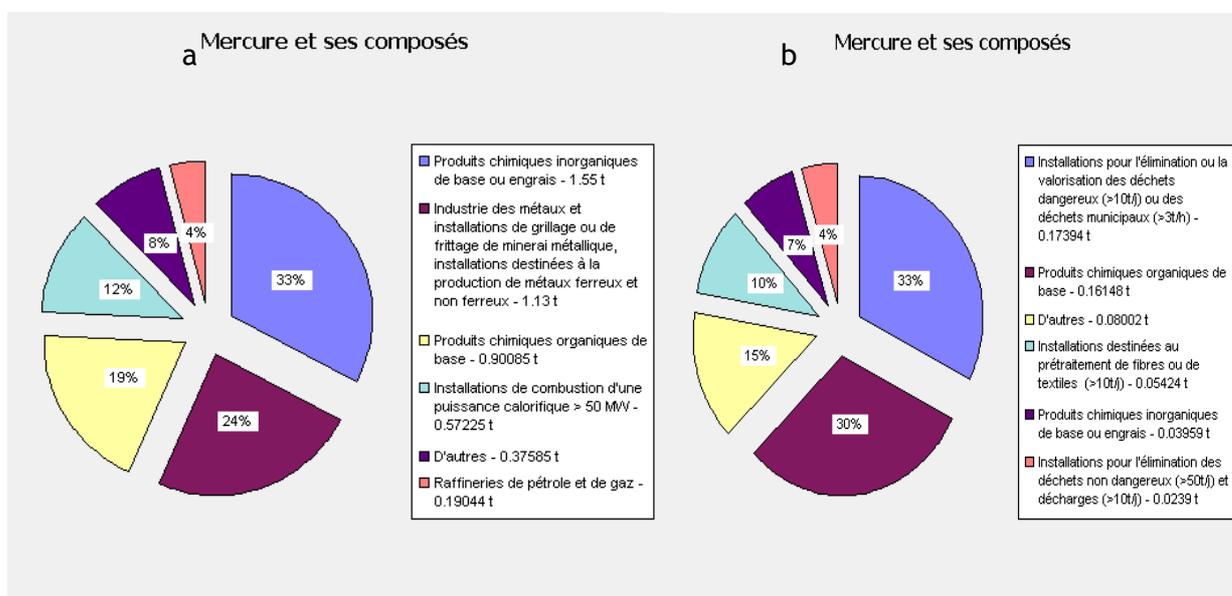


Figure 3.13. Emissions 2004 de mercure vers l'eau en Europe (d'après le site internet EPER) ; a : émissions directes ; b : émissions indirectes.

Ainsi, au niveau européen des émissions industrielles vers l'eau de près de 5,25 t de mercure et de ses composés ont été mises en évidence (avec 4,72 t émises de façon directe et 0,53 de façon indirecte). Près de 4,5% et 30% des émissions vers l'eau étaient dues à 111 sites industriels français (soit respectivement 0,21 t³² de façon directe et 0,16 t¹⁵ de façon indirecte).

On note que ce sont les deux même secteurs qui contribuent majoritairement aux émissions, vers l'air, comme vers l'eau : la transformation d'énergie et l'industrie manufacturière.

³¹ Après station d'épuration.

³² D'après les informations que nous avons regroupées, les 111 sites industriels français considérés par EPER équivalent à plus de 30% des industries françaises émettrices de mercure.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

3.5.2 Rejets industriels en France

Le mercure et ses composés ont de multiples applications dans l'industrie (cf. §2.2). La figure 3.14 extraite du site internet IREP permet de localiser les différents sites émetteurs de mercure dans l'eau en France métropolitaine.



Figure 3.14. Carte des installations soumises à déclaration émettant du mercure dans l'air (site internet IREP).

Sur cette carte se dégagent quatre régions dans lesquelles on retrouve un nombre important d'industries émettrices de mercure dans l'eau (Ile-de-France, Nord-Pas-de-Calais, Alsace et Rhone-Alpes). Les sites industriels du pourtour de l'étang de Berre sont également des émetteurs de mercure dans l'eau.

Dans le tableau 3.7. figurent les émissions de mercure dans l'eau pour les industries soumises à déclaration.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Tableau 3.7. Emissions de mercure dans l'eau des installations soumises à déclaration de 2003 à 2006 (données BDREP)³³.

Année	Emissions Hg (kg.an ⁻¹)
2003	333
2004	540
2005	539
2006	493

Sur la période 2004-2006, les émissions totales de mercure dans l'eau sont restées relativement stables.

Les secteurs qui rejettent le plus sont la chimie - parachimie - pétrole, les industries extractives, le secteur de l'agroalimentaire et des boissons, la sidérurgie - métallurgie - coke, les déchets et traitement ainsi que le secteur textile. Des émissions de mercure moins importantes sont également le fait de l'industrie du bois - papier - carton, des industries minérales (céramique), du traitement de surface et du secteur de l'énergie.

Le graphique ci-après (figure 3.14) montre l'évolution des émissions de mercure vers les eaux pour les six plus importants secteurs.

³³ Les données pour 2003 sont présumées incomplètes et sont données à titre indicatif. D'autre part, au jour de l'extraction des informations contenues dans BDREP, pour l'exercice 2006, environ 15% des données sont en attente de renseignement.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

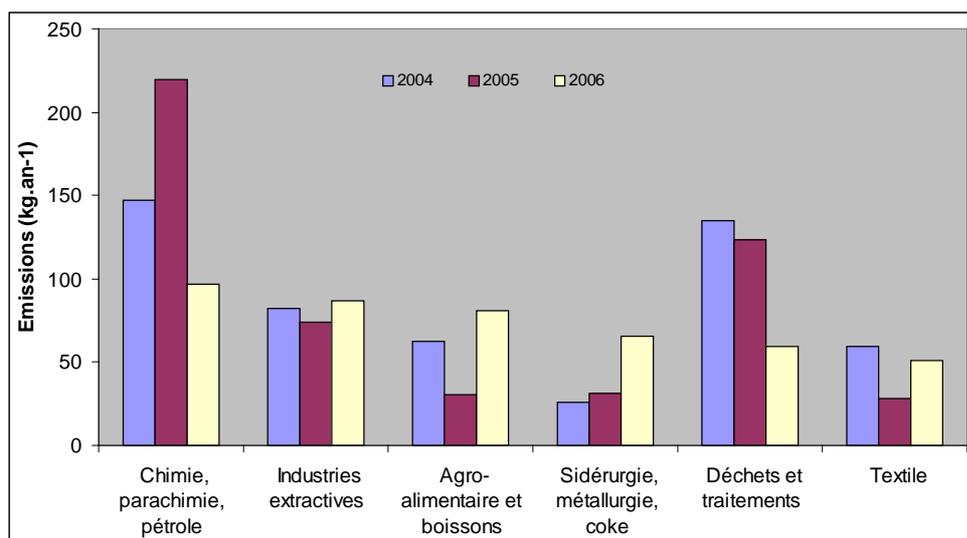


Figure 3.14. Evolution des émissions de mercure dans les eaux par les six principaux secteurs émetteurs (données BDREP).

Sur ce graphique sont représentées les variations des émissions de mercure dans l'eau par les six plus importants secteurs industriels concernés pour la période 2004-2006. Pour la période 2004-2006, les rejets de mercure par le secteur de la chimie - parachimie - pétrole ont diminué de 33% avec un pic en 2005, ceux du secteur des déchets ont été divisés par 3. Par contre, les émissions de mercure dans l'industrie agro-alimentaire et des boissons ont augmenté de 25% (passant de 62 à 80 kg.an⁻¹)³⁴. De même, les rejets de mercure dans le secteur de la sidérurgie - métallurgie - coke ont été multipliés par 2 sur cette période.

Le tableau 3.8. présente la ventilation des rejets dans les différents sous-secteurs d'activité.

³⁴ A ce jour, nous n'avons pas d'explication pour la présence de mercure dans ce secteur industriel.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Tableau 3.8. Répartition des rejets de mercure dans les eaux par sous secteurs d'activité pour les industries soumises à déclaration (données BDREP).

	Sous-secteur d'activité	Masse émise en 2006 (kg)	% des émissions dans le secteur en 2006	% des émissions totales		Nombre d'émetteurs	
				2005	2006	2005	2006
Chimie, parachimie, pétrole (19,7%)	Industrie du chlore	55,95	57,71	1,83	1,35	3	3
	Chimie, phytosanitaire, pharmacie	21,60	22,28	1,30	4,38	4	5
	Chimie minérale inorganique autre	12,52	12,91	2,11	2,54	4	4
Industries extractives (17,6%)	Minerais non métalliques (extraction de)	87,00	100,00	1,37	1,64	1	1
Agro-alimentaire et boissons (16,4%)	Industrie du sucre	71,86	88,99	1,85	1,57	1	2
	Distillation d'alcool et d'eau de vie	7,26	8,99	0,95	1,47	1	1
Sidérurgie, métallurgie, coke (13,3%)	Fonderie des métaux non ferreux	50,00	76,38	0,00	1,14	1	1
	Fabrication d'alumine	6,00	9,17	1,30	1,22	1	1
	Sidérurgie, métallurgie, coke	5,00	7,64	1,26	1,01	1	1

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

	Sous-secteur d'activité	Masse émise en 2006 (kg)	% des émissions dans le secteur en 2006	% des émissions totales		Nombre d'émetteurs	
				2006	2006	2006	2006
	Autres métaux non ferreux (métallurgie des)	3,00	4,58	20,05	20,06	20,05	20,06
Déchets et traitement (12,1%)	Traitement de déchets urbains	29,27	49,00	14,86	15,93	27,86	33,88
	Incinération	14,33	23,99	5,29	2,91	12,21	11,11
	Décharges d'ordures ménagères	8,76	14,67	0,10	1,78	1,48	2,77
	Stations d'épuration industrielles	2,00	3,35	0,22	0,41	1,21	2,21
	Stations d'épuration urbaines	1,75	2,92	0,11	0,35	2,35	2,25
Textile (10,3%)	Blanchiment, teinture, impression	50,45	99,50	0,40	1,23	2,23	4,33

Dans le tableau 3.8. sont regroupés plus de 85% des émissions de mercure vers les eaux pour l'année 2006. Pour 2006, près de 64% des rejets de mercure vers les eaux sont produits par et onze sites d'installations soumises à déclaration, appartenant à cinq sous-secteurs d'activité :

- ◆ l'industrie du chlore (3 sites)
- ◆ l'extraction de minerais non métalliques (1 site)
- ◆ l'industrie du sucre (2 sites)
- ◆ la fonderie de métaux non-ferreux (1 site)
- ◆ le secteur du blanchiment, teinture, imprimerie (4 sites)

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Les émissions de mercure provenant de l'industrie du chlore sont amenées à fortement diminuer voir disparaître avec le changement de technologie prévu.

3.6 Rejets anthropiques dans les sols

Selon l'UNEP (2005), les conditions dans les sols sont habituellement favorables à la formation de composés mercuriels inorganiques et organiques se complexant avec des anions organiques. Ce mécanisme de complexation gouverne en grande partie la mobilité du mercure dans les sols. Une partie importante du mercure présent dans les sols est liée à des matières organiques brutes. Il est donc susceptible d'être entraîné par les eaux de ruissellement lorsqu'il est lié à des particules de sol ou de l'humus en suspension.

Néanmoins, rappelons que certains micro-organismes présents dans les sols peuvent faire passer le mercure présent dans l'environnement d'une forme chimique à une autre³⁵.

Cet état de fait explique pourquoi le temps de rétention du mercure dans les sols est long. Il s'ensuit que le mercure accumulé dans les sols peut continuer d'être libéré dans les eaux de surface et d'autres compartiments de l'environnement pendant de longues périodes, peut-être des centaines d'années (Pirrone *et al.*, 2001).

3.6.1 Observations dans la végétation

L'UNECE ICP Vegetation a dédié un rapport à la mesure des teneurs en métaux lourds présentes dans les mousses terrestres (UNECE ICP, 2003)³⁶. Pour l'année 2001, en France, les plus fortes teneurs en mercure ont été observées en Picardie et à proximité d'un site industriel de production de chlore en région Rhône-Alpes.

3.7 Rejets liés à l'utilisation de produits

Depuis le bannissement des pesticides contenant des composés mercuriels et des thermomètres médicaux à mercure, les principaux produits contenant du mercure sont les batteries, les amalgames dentaires, les lampes fluorescentes, et plus anecdotiquement les instruments scientifiques (type baromètre de Torricelli) ainsi que des appareillages électriques.

³⁵ De nombreux paramètres influencent la méthylation et la déméthylation, par exemple la concentration en ions sulfures (S^{2-}) et le potentiel d'oxydoréduction.

³⁶ En effet, les concentrations des mousses en métaux lourds reflètent approximativement le dépôt de ces métaux depuis l'atmosphère sur les sols et la végétation. Ces mesures se révèlent donc être une alternative bon marché à méthodes conventionnelles de précipitation

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Au sein de ces produits une ségrégation en trois catégories peut être faite en fonction de la possibilité de rejet de mercure en usage normal :

- Rejets peu probables si le produit est utilisé, recyclé selon la législation en vigueur (batteries, catalyseurs chimiques, appareillages électriques ; amalgames dentaires) ;
- Rejets possibles en cas de bris de matériel mais peu probable en cas d'usage normal et si le produit est recyclé selon les textes en vigueur (lampes fluorescentes et instruments scientifiques) ;
- Rejets attestés³⁷ (produits médicaux et cosmétiques, peintures, pigments et extractions de métaux précieux).

Selon un rapport de l'union européenne (Research EU, 2007), le traitement par incinération des déchets électriques et électroniques, en particulier les produits gris issus de la bureautique et de l'informatique (écrans, unités centrales, imprimantes, etc.) diffuse dans l'atmosphère près de 36 tonnes de mercure. Cet article signale également que ce type de déchets est insuffisamment collecté ou recyclé.

3.8 Pollutions historiques

En Amérique du Nord (Wyoming), les dépôts atmosphériques de mercure des 270 dernières années peuvent être estimés à partir de l'analyse d'une carotte de glace prélevée sur un glacier. Ces analyses (figure 3.15) donnent un ordre d'idée des quantités de mercure rejetées dans l'atmosphère d'origine naturelle et humaine et ce, à partir des sources régionales et globales (Schuster *et al.*, 2002).

³⁷ En France métropolitaine, la plupart de ces utilisations du mercure sont très minoritaires. Ces utilisations sont également fortement encadrées par la législation.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

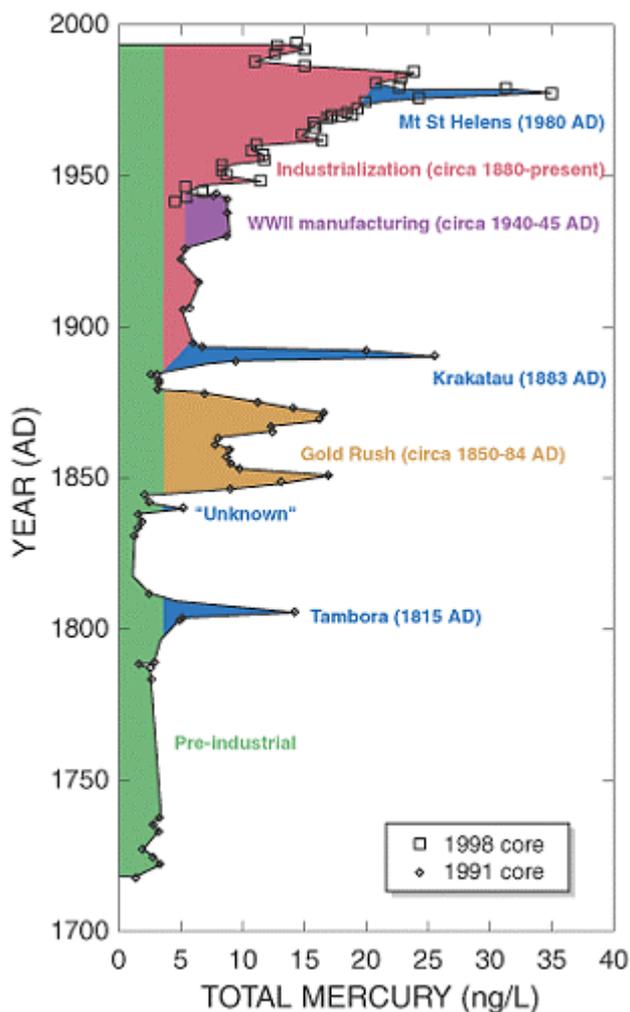


Figure 3.15. Dépôts atmosphériques de mercure sur les 270 dernières années (d'après Schuster et al., 2002).

En plus des variations exceptionnelles liées à des événements naturels (éruptions volcaniques), cette figure illustre la tendance historique du recours au mercure :

- tendance générale à l'augmentation depuis 1900 (liée aux utilisations humaines de ce métal) ;
- décroissance significative des rejets anthropiques de mercure depuis 25 ans.

Sur certains sites en Europe, on rencontre un grave problème environnemental lié à la pollution historique du sol et des cours d'eau par le mercure (Commission

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

européenne ; 2001b). Cette pollution est en partie due aux retombées de mercure et au rejet traditionnel des boues de graphite, corollaire de l'emploi des anodes en graphite pour la fabrication de chlore, et d'autres déchets sur le site même de l'installation ou à proximité.

En France, le site internet BASOL³⁸ du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable recense 156 sites industriels pollués au mercure : parmi eux, certains sont liés à l'industrie du chlore (par exemple : Arkema Saint-Auban ; Arkema Villers Saint-Paul ; ...).

4. POSSIBILITES DE REDUCTION DES REJETS

Selon le PNUE (2002), les méthodes de réduction des rejets de mercure d'origine anthropique varient considérablement, en fonction du contexte local mais peuvent se regrouper en quatre catégories :

- La réduction des activités d'extraction et de consommation des matières premières et des produits générateurs de rejets de mercure ;
- La substitution (ou l'élimination), par des alternatives sans mercure, des produits des procédés et des pratiques qui contiennent ou qui utilisent du mercure ;
- La réduction des émissions de mercure par la mise en œuvre de technologies de traitement des rejets ;
- La gestion des déchets de mercure.

4.1 Réduction de consommation de matières premières et de produits

Selon le PNUE (2005), cette mesure préventive vise le plus souvent les produits et procédés à base de mercure mais peut également résulter d'une meilleure efficacité de la consommation des matières premières ou de la consommation des combustibles aux fins de production d'électricité.

4.1.1 Choix, utilisation et traitement des matières premières

Selon le PNUE (2005), le choix d'une matière première alternative, comme par exemple, le passage au gaz naturel pour produire de l'électricité (en remplacement du charbon) peut permettre la réduction des émissions de

³⁸ Base de données BASOL sur les sites et sols pollués (ou potentiellement pollués) appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

mercure³⁹. Une autre solution pourrait consister à utiliser du charbon ayant une plus faible teneur en mercure à l'état de trace⁴⁰. Selon le PNUE (2002), ces mesures préventives ont généralement un bon rapport coût-efficacité.

Le problème des émissions de mercure provenant des chaudières (surtout celles fonctionnant au charbon), peut être traité efficacement au moyen de différentes approches :

- épuration préalable du charbon ;
- réduction des quantités de charbon consommées par une augmentation de l'efficacité énergétique ;
- utilisation de combustibles autres que le charbon.

4.1.2 Exploitations artisanales de métaux précieux

Hormis certains territoires d'Outre-mer, l'exploitation artisanale (autorisée ou non) de métaux précieux (minerais aurifères) ne concerne pas de façon sensible la France métropolitaine, selon le PNUE (2005), il est possible de réduire les émissions de mercure associées à ces exploitations :

- faisant appel à des programmes de formation des mineurs et de leurs familles sur les dangers auxquels ils s'exposent ;
- en favorisant des techniques qui sont plus sûres et qui n'utilisent pas ou qui utilisent peu de mercure ;
- en créant des ateliers où les mineurs peuvent apporter leurs minerais concentrés pour les soumettre à un procédé final de raffinage.

Certains pays ont essayé d'interdire l'utilisation du mercure par des mineurs artisanaux. Cette interdiction pourrait favoriser l'utilisation d'installations de traitement centralisées, mais son application pourrait se révéler difficile.

4.1.3 Réduction de la Production d'électricité

En France la production d'électricité à partir des énergies fossiles (gaz, pétrole et charbon combinés) n'atteint que 3% de la production totale (site internet d'EDF). Les mesures visant à réduire la consommation d'électricité au niveau national n'auront donc que peu d'impact sur les rejets français de mercure.

³⁹ Le mercure est typiquement présent dans le charbon et le pétrole selon des concentrations s'étalant respectivement de 0,1 à 1 et de 0,01 à 1 ppm (Floyd *et al.*, 2002).

⁴⁰ Cependant, il est probable que certains producteurs d'électricité soient prêts à payer plus cher pour du charbon à faible teneur en mercure, ce qui pourrait, à son tour, conduire à une consommation plus importantes de charbon à forte teneur en mercure dans des régions où les contrôles d'émissions sont moins rigoureux.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

4.2 Gestion des déchets

Selon l'UNEP (2005), la gestion des déchets contenant du mercure gagne en complexité à mesure qu'augmentent les quantités de mercure récupérées et que se diversifient les sources de mercure, notamment : les équipements de filtration d'effluents industriels atmosphériques usagés, les boues provenant des fabriques de chlore, les cendres, les scories et les résidus minéraux inertes ainsi que les tubes fluorescents usagés, les piles et d'autres produits qui sont rarement recyclés.

La gestion des déchets contenant du mercure, telle que pratiquée le plus couramment aujourd'hui, c'est-à-dire en respectant la réglementation nationale et locale, demande de plus en plus une vision et des investissements à long terme. Une gestion adéquate des déchets contenant du mercure est importante si l'on veut limiter les rejets provenant notamment de thermomètres et de manomètres cassés ou, encore, les rejets graduels dus à certaines applications (par exemple les autocommutateurs et amalgames dentaires). En outre, comme il existe une demande du marché pour le mercure, la collecte de produits contenant du mercure en vue de leur recyclage limite le besoin de nouvelles exploitations minières de mercure.

4.2.1 Campagnes de collectes exceptionnelles

Selon le PNUE (2002), les émissions des installations d'incinération des ordures ménagères et des déchets des activités de soins peuvent être réduites en séparant la petite fraction des déchets qui contient du mercure avant incinération, par exemple par la mise en place d'un tri sélectif en milieu hospitalier. Néanmoins, la généralisation à l'ensemble de la population d'un tel dispositif aurait un coût prohibitif. Pour contourner ce problème, le PNUE (2002) suggère la mise en place d'une période limitée de collecte volontaire de l'ensemble des produits contenant du mercure ou des dérivés mercuriques.

4.2.2 Accroissement du recyclage des piles et batteries

En 2003, on estime que seuls 27% des piles et batteries mises sur le marché français (775 millions de piles et accumulateurs, soit plus de 7 000 tonnes) étaient recyclés (ADEME, 2004). De plus, l'ADEME (2004) affiche des objectifs de collecte compris entre 40 et 50% des piles et accumulateurs portables mis sur le marché en 2006.

De même, la capacité française de recyclage couvre largement l'ensemble des piles mises sur le marché (ADEME, 2004). Quantitativement, une entreprise du secteur du recyclage estime que le recyclage des piles pourrait générer une « économie » pouvant atteindre 10 tonnes de mercure par an (Onyx, 2003).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Un accroissement de la collecte des piles et batteries est donc nécessaire : un système de consigne pourrait être imaginé afin d'accroître la participation des particuliers à cet effort.

4.2.3 Stockage et destruction des véhicules en fin de vie

Selon l'UNEP (2002), les émissions de mercure dues aux procédés de traitement de la ferraille ou celles provenant de parcs à ferrailles, de déchiqueteurs et d'aciéries secondaires, résultent surtout de la présence de commutateurs électriques, des phares et des systèmes ABS (systèmes de freinage anti-blocage) dans les véhicules automobiles. Une solution pourrait consister en la mise en place de programmes efficaces de démontage et de collecte des matériels contenant du mercure.

4.2.4 Application en dentisterie du mercure

Selon l'UNEP (2005), il est possible de réduire les rejets de mercure provenant des cabinets dentaires en préparant les amalgames au mercure d'une manière plus efficace, en remplaçant ces amalgames par d'autres produits (composites) et en installant des siphons/mode de récupération des déchets appropriés dans les systèmes d'évacuation des eaux. Néanmoins, il faut préciser que mis à part la généralisation des composites non-mercuriels, les autres préconisations sont déjà mises en œuvre en France.

Selon l'UNEP(2005), la meilleure manière de réduire les émissions de mercure produites par les amalgames dentaires pendant la crémation consiste à filtrer les émissions. Comme les systèmes d'épuration des fumées coûtent cher, l'approche à privilégier consiste en une politique dynamique de prévention, c'est-à-dire l'utilisation de matériaux autres que des amalgames de mercure pour les traitements dentaires courants.

4.2.5 Mise en décharge « sauvage »

Selon l'UNEP (2005), afin de contrer l'élimination « sauvage » de produits ou de déchets contenant du mercure, il convient de combiner une stricte application de la loi à une facilitation de l'accès aux installations de traitement de déchets toxiques. A plus long terme, la réduction/disparition des quantités de mercure utilisées dans les produits de grande consommation est une piste à suivre.

4.3 Produits et procédés de substitution

Selon l'UNEP (2005), la substitution de produits et de procédés contenant ou utilisant du mercure par des produits ou procédés exempts de mercure pourrait être l'une des mesures préventives susceptibles d'avoir la plus grande incidence sur tous les flux de mercure dans l'économie et l'environnement. Elle pourrait limiter sensiblement les quantités de mercure présentes dans les maisons, dans l'environnement, dans le flux des déchets, dans les émissions des incinérateurs et

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

dans les décharges. La substitution présente généralement un bon rapport coût-efficacité, d'autant plus qu'elle est de plus en plus exigée par le marché.

4.3.1 Industrie du chlore - Minimisation des rejets des installations à cellule à mercure

Selon la Commission européenne (2001b), les installations à cellules à mercure les plus performantes atteignent des pertes totales de mercure dans l'air, dans l'eau et avec les produits, de l'ordre de 0,2 à 0,5 g de mercure par tonne de capacité de chlore, en moyenne annuelle (tableau 4.1) :

Tableau 4.1. Rejet de mercure dans les installations de fabrication de chlore par cellule à mercure (d'après la Commission européenne, 2001b).

	g Hg/tonne de capacité de chlore
Air : salle des cellules	0,2-0,3
Air : dégagements de gaz industriels (effluents gazeux), y compris l'unité de distillation de Hg	0,0003-0,01
Air de refroidissement non traité de l'unité de distillation de Hg	0,006-01
Eau, émissions du processus industriel	0,004-0,055
Soude caustique	0,01-0,05
Total	0,2-0,5

Selon la Commission européenne (2001b), la meilleure technique disponible spécifique à la fabrication de chlore consiste au remplacement des installations à cellules à mercure par la technique de la cellule à membrane.

Néanmoins, pendant la durée de vie restante des installations fonctionnant avec des cellules à mercure, il convient de prendre toutes les mesures qui s'imposent pour protéger l'environnement dans son ensemble, notamment des mesures propres à minimiser les pertes de mercure dans l'air, l'eau et les produits, à savoir :

- utilisation d'équipements et de matériels adéquats et, si possible, un aménagement de l'installation (aménagement par exemple des zones consacrées à certaines activités) qui minimisent les pertes de mercure dues à l'évaporation et/ou à du liquide répandu ;
- des méthodes d'entretien adaptées et un personnel motivé pour travailler selon ces bonnes pratiques ;

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

- des programmes de maintenance adaptés, avec notamment, une planification des travaux périodiques de maintenance et de réparation ;
- collecte et traitement de tous les effluents gazeux contenant du mercure provenant de toutes les sources possibles, y compris l'hydrogène gazeux ;
- mesures pour minimiser la quantité d'eaux usées (effluents liquides) et traitement de tous les effluents liquides contenant du mercure ;
- réduction des teneurs en mercure dans la soude caustique.

De plus, la majorité des pertes de mercure s'observant via les divers déchets provenant du procédé, il convient de prendre des mesures propres à minimiser les émissions de mercure actuelles et futures provenant de la manutention, du stockage, du traitement et de l'évacuation de ces déchets contenant du mercure :

- mise en œuvre d'un plan de gestion des déchets élaboré après consultation avec les autorités compétentes ;
- mesures propres à minimiser la quantité de déchets mercuriels ;
- recyclage du mercure contenu dans les déchets lorsque cela est possible ;
- traitement des déchets pollués par le mercure pour réduire la teneur en mercure dans ces déchets ;
- stabilisation des déchets résiduels contenant du mercure avant leur évacuation définitive.

Enfin, il convient de prendre des mesures lors de la mise à l'arrêt définitive des installations industrielles de manière à éviter les impacts sur l'environnement avant et après la procédure de fermeture. Ainsi, avant de procéder à la fermeture les questions à aborder sont les suivantes :

- le nettoyage et la démolition des bâtiments ;
- la récupération du mercure ; le traitement et l'évacuation des matériaux provenant du nettoyage général ; les travaux de démolition de l'installation ; la démolition des bâtiments, des tuyaux, etc... ;
- la planification des activités de transport et de démolition ;
- surveillance des émissions de mercure dans l'air et dans l'eau de même que des contrôles sanitaires pour le personnel concerné ;
- le suivi après l'arrêt de l'installation (étude du risque de contamination de l'ensemble du site et de ses environs, y compris le sol, les anciennes décharges de déchets et les sédiments dans les cours d'eau voisins).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

4.3.2 Industrie du chlore - remplacement des installations à cellules à mercure

La Commission européenne (2001b) considère que la meilleure technique disponible spécifique aux installations à cellules à mercure consiste à passer à la technique de la cellule à membrane. De même, la décision 90/3 du 14 juin 1990 de la Commission pour la protection de l'environnement marin de l'atlantique du nord-est (PARCOM2) recommande la fermeture progressive des installations existantes de production de chlore par le procédé mercure dès que cela est faisable.

Depuis 1987, la quasi-totalité des nouvelles installations de chlore-alkali dans le monde utilise ce procédé des cellules à membrane. Le remplacement de la capacité actuelle des procédés au mercure et à diaphragme par les cellules à membrane se fait à un rythme lent qui s'explique par la longue durée de vie des installations et aux investissements en équipement élevés que nécessite ce remplacement. Néanmoins, malgré l'investissement important que représente ce changement de process (Commission Européenne, 2001b), **les industriels du chlore se sont engagés à bannir la technologie « mercure » du territoire européen au plus tard en 2020** (SHD, 2004 ; Euro Chlor, 2005).

4.3.3 Substitution des combustibles

Plus extrême que les mesures proposées au §0 (choix de combustibles fossiles moins riches en mercure ou traitement de ce combustible) la substitution des combustibles non fossiles (bois, biogaz, biomasse, ...) aux combustibles fossiles est également envisageable pour les centrales électriques, les GIC, les chaudières collectives, ...

De façon plus générale, cette réflexion est également valable pour tous types d'utilisations d'énergies renouvelables (biomasse, énergie éolienne, solaire, hydraulique, ...) ou non renouvelable (nucléaire) permettant de diminuer le recours aux énergies fossiles libératrices de mercure.

4.3.4 Alternatives à l'utilisation de tubes fluorescents

Selon l'UNEP (2005), les lampes fluorescentes présentent un haut rendement énergétique. Il est donc généralement préférable d'utiliser ce type de lampe au mercure plutôt qu'une lampe à incandescence sans mercure mais à moins bon rendement énergétique.

Néanmoins, pour remplacer ces lampes fluorescentes au mercure, Asari *et al.* (2008) suggèrent d'encourager le développement de lampes de haute efficacité exempte de mercure en particulier les LED (diodes électroluminescentes).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

4.4 Réduction des émissions par la mise en œuvre de technologies de traitement des rejets

Selon le PNUE (2002) et l'IPPC (2005), la réduction des émissions de mercure par la mise en œuvre de technologies de traitement des rejets (telles que la dépollution des gaz de combustion) peut être adaptée aux matières premières génératrices de contamination de mercure à l'état de trace, y compris les centrales de production d'électricité thermiques classiques (à combustibles fossiles), la fabrication du ciment (filiale où la chaux contient souvent du mercure), l'extraction et la transformation des matières premières (fer, acier, ferromanganèse, zinc, ou et d'autres métaux non ferreux), la transformation des matières premières secondaires (ferraille) ainsi que l'incinération des déchets (ménagers, industriels ou hospitaliers).

Par exemple, pour les rejets atmosphériques des chaudières à charbon, le niveau de réduction varie de 0 à 96%, en fonction du type de charbon utilisé, de la conception de la chaudière et du dispositif de traitement des émissions. Des techniques de réduction supplémentaires du mercure sont en cours de développement : à long terme, les technologies de réduction multi-polluants (SO₂, NOx, PM, Mercure, ...) pourraient constituer une approche ayant un bon rapport coût-efficacité. Cependant, si les techniques de traitement des rejets réduisent les émissions atmosphériques du mercure, elles produisent toujours des déchets contenant du mercure qui sont des sources potentielles d'émissions futures. Par conséquent, ces déchets doivent être éliminés ou valorisés de manière respectueuse de l'environnement (PNUE, 2002).

4.4.1 Comparatif des techniques pour les effluents aqueux

Le tableau 4.2 présente un récapitulatif des différentes techniques de traitement des effluents contenant du mercure et/ou des composés à base de mercure. Ces techniques sont dédiées au traitement des effluents liquides.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Tableau 4.2. Récapitulatif des techniques et de leur efficacité vis à vis de la démercuration des effluents aqueux ; * : peu d'effet ; ** : effet suffisant pour répondre aux normes en vigueur ; *** : excellent (d'après Degrémont, 1991).

Technique	Efficacité
Préchloration	Améliore l'élimination
Coagulation	*
Filtres à sable	***
Echangeurs d'ions	**
Charbon actif	***

Degrémont (2005) indique que le meilleur procédé d'élimination de mercure des effluents aqueux est la combinaison clarification (coagulation, floculation et décantation) associée à un affinage par filtres à charbon actif granulaire.

4.4.1.1 Préchloration

D'après le site internet de la société Lenntech, la préchloration permet au chlore de décomposer les complexes organiques qui maintiennent les métaux lourds en solution en les portant à un degré d'oxydation maximum. Une préchloration est souvent recommandable avant la décantation, afin d'obtenir une meilleure qualité.

Degrémont (2005) précise que cette technique ne s'utilise pas seule mais associée à la coagulation-décantation et filtration.

4.4.1.2 Coagulation, floculation, décantation

Le coagulant ajouté à l'eau a pour rôle de transformer les métaux lourds dissous dans l'eau en composés insolubles qui précipiteront. On utilisera alors un procédé de décantation ou de filtration pour finir le traitement.

Les taux de mercure peuvent être réduits de 50 à 90% (Degrémont, 2005). Néanmoins, ce procédé a des limites :

- la présence d'un trop grand nombre d'espèces métalliques peut nuire à l'efficacité ;
- l'efficacité du procédé repose sur l'utilisation des bonnes techniques de séparation (floculation et/ou filtration) ;

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

- le procédé peut aboutir à la formation de boues toxiques, qu'il faudra traiter par la suite ;
- les eaux traitées nécessitent souvent un réajustement de pH.

D'après US EPA (2007), ce procédé est le plus fréquemment utilisé. De plus, il peut supporter différentes caractéristiques d'effluents ainsi que des débits très importants. In fine, après plusieurs cycles de traitement éventuellement associés à une étape d'adsorption sur charbon actif, ce procédé permet d'atteindre des concentrations de l'ordre de $2 \mu\text{g.L}^{-1}$.

4.4.1.3 Echangeur d'ions

Les échangeurs d'ions (également appelées résines) sont des substances granuleuses insolubles dont la structure possède un radical acide ou basique. Ces substances sont capables de fixer les cations ou anions minéraux et organiques. Des sociétés proposent des résines spécialement conçues pour la rétention des métaux lourds.

L'usage de ce type de matériel permet une bonne capacité d'adsorption (même en présence d'huiles, solvants et oxydants), une adsorption de tous les métaux lourds, une utilisation dans tout type de matériel et une utilisation immédiate. Ce type de matériel peut être utilisé pour limiter les rejets des incinérateurs (IPPC, 2005). Néanmoins, cette technique semble peu utilisée du fait de son coût économique important.

4.4.1.4 Filtres à charbon actif

Le phénomène physique à l'œuvre au sein des filtres à charbon actif⁴¹ est l'adsorption, c'est à dire l'adhésion des matières à filtrer sur la surface d'un solide, sans réaction chimique. Le charbon actif est le composé le plus adsorbant actuellement connu. Les origines du charbon actif peuvent être minérales ou végétales. L'utilisation de la filtration par charbon actif en poudre permet une adsorption totale du mercure (Degrémont, 2005 ; IPPC, 2005). Cette technologie peut être mise en place en milieu industriel.

D'après US EPA (2007), cette technique de traitement est plus sensible aux caractéristiques de l'effluent à traiter (débit de liquide, nombres de polluant dans la matrice à traiter). Cette source, précise également que cette technique est adaptée pour un petit système ou en complément, pour la finalisation d'un traitement sur un système de grande ampleur.

⁴¹ On dénomme également « filtres CAG » les filtres à charbon actif granulaire.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

4.4.1.5 Filtration par membrane

Le principe de la filtration par membrane est de concentrer les polluants dans un petit volume d'eau (US EPA, 2007). Pour cela, l'effluent à traiter passe au travers d'une membrane semi perméable et microporeuse qui le sépare en deux parties :

- Le perméat, c'est à dire le fluide qui est passé de l'autre coté de la membrane avec un niveau de contamination plus faible ;
- Le concentrat, c'est-à-dire l'eau et les polluants retenus par la membrane.

In fine, cette technique permet d'atteindre des concentrations de l'ordre de $2 \mu\text{g.L}^{-1}$ dans le perméat.

Selon le site internet de Lenntech, les procédés de filtration par membrane couvrent les domaines de la microfiltration jusqu'à l'hyperfiltration (osmose inverse). De tels procédés ont fait leurs preuves dans le traitement d'effluent spécifiques contenant des métaux lourds

4.4.1.6 Autres techniques innovantes

4.4.1.6.1 Traitement biologique

Cette technique qui permet la décontamination par voie biologique est en développement. Deux types de procédés sont actuellement testés ; le premier transforme les ions mercure en mercure élémentaire par des bactéries puis l'effluent passe sur du charbon actif pour éliminer le mercure résiduel. Le second procédé est une succession d'étapes de traitement biologiques aérobies et anaérobies (US EPA, 2007).

4.4.1.6.2 Purification par chélation

Soutenu par l'Union européenne, le projet de recherche « mercury » s'intéresse à la chélation⁴² du mercure par les calixarènes⁴³ en milieu aqueux. Ainsi, un nouveau matériau, de la silice dopée aux calixarènes, a été développé et testé et pourrait permettre de constituer des membranes extractrices filtrant les effluents industriels à faible coût (RDT info, 2005). Néanmoins, à ce jour, aucune application commerciale de cette technologie n'est encore disponible.

⁴² Formation ou présence de liaisons ou autres forces attractives entre un atome central unique (ici le mercure) et deux ou plusieurs sites liants distincts d'un même ligand.

⁴³ Les calixarènes sont des composés cycliques utilisés comme complexants en chimie supra moléculaire. Leur nom vient de leur ressemblance dans leur forme avec les vases grecs nommés en anglais "calix crater".

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

4.4.1.6.3 Nanotechnologie

Le développement d'un nouvel adsorbant spécifique au mercure (substrat de céramique nanoporeuse présentant une importante surface fonctionnalisée par une couche de groupements thiols) semble présenter des perspectives intéressantes pour l'avenir. A l'échelle du laboratoire, cet adsorbant présente une capacité d'adsorption de 635 mg.g^{-1} . De plus, cette capacité ne semble pas être affecté par la présence d'autres cations ou anions complexants dans l'effluent à traiter (US EPA, 2007).

4.4.1.6.4 Phytoremédiation

Des essais en laboratoire sont effectués pour évaluer l'efficacité de traitement d'effluents liquides par des plantes (riz génétiquement modifié, peupliers,...). Les résultats de ces essais ne sont pas disponibles.

4.4.1.6.5 Air stripping

Cette technique expérimentale, consiste à utiliser du chlorure d'étain pour réduire Hg^{2+} en Hg^0 qui est volatil. Ce mercure élémentaire présent dans l'air au dessus de l'eau est ensuite collecté afin de l'éliminer (US EPA, 2007). Cependant, avant toute recommandation d'utilisation de ce procédé, il sera nécessaire d'évaluer les effets sur l'environnement de l'étain introduit dans l'eau.

4.4.2 Techniques spécifiques aux effluents gazeux

De façon préliminaire, il est utile de préciser que selon l'UNEP (2005), la spéciation revêt une grande importance en ce qui concerne la possibilité de réduire les émissions de mercure dans l'atmosphère. Par exemple, les émissions de composés inorganiques du mercure (tels que le chlorure de mercure) sont capturées avec une relativement bonne efficacité par certains dispositifs anti-pollution (comme les dépoussiéreurs par voie humide), tandis que la plupart des dispositifs anti-pollution parviennent mal à piéger le mercure élémentaire.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

4.4.2.1 Techniques de traitement des effluents gazeux des grandes installations de combustion

Le document de référence BAT (Best Available Techniques) pour les GIC (Commission Européenne, 2005b) souligne qu'une des particularités du mercure réside dans la forte pression de vapeur que ce métal possède. Contrairement aux autres métaux lourds (mis à part le sélénium) cette caractéristique physico-chimique entraîne une forte présence de mercure dans la phase vapeur se dégageant des GIC. Pour cette phase gazeuse, les réductions des émissions ne peuvent être réalisées que par la mise en œuvre de mesures primaires : substitution de combustibles, utilisation de certains minerais ou brûlage de combustibles moins riches en mercure. En effet, le traitement des effluents gazeux de ces installations par des appareillages destinés au contrôle des particules est donc d'une efficacité extrêmement variable.

Les BREF concernant les grandes installations de combustion ou GIC et les incinérateurs (Commission européenne, 2005b ; IPPC, 2005) préconisent différents appareillages pour minimiser les émissions atmosphériques de mercure (ESPs : Electrostatic Precipitators ; FFs : Fabrix Filters ; FGD : Flue Gas Desulphurisation ; SCR : Selective Catalytic Reduction ; scrubbers⁴⁴ ; dry sorbent injection, ...). Un synthèse de l'efficacité de capture de ces procédés vis à vis du mercure est présentée dans le tableau 4.3 (ci-après).

⁴⁴ Afin de maintenir l'efficacité du système, une partie du liquide contenu dans le circuit doit être remplacée et évacuée en tant que déchet (IPPC, 2005). Ce liquide doit être traité vis à vis de son contenu en métaux lourds (dans certains incinérateurs, ce liquide est incinéré).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Tableau 4.3. Coût et efficacité des mesures de control des émissions atmosphériques de mercure pour les centrales électriques, les incinérateurs municipaux et médicaux (d'après Commission européenne, 2001c).

	Appareillage mis en place	Efficacité de capture	Investissement		Coûts d'usage et de maintenance	
		(%)	Unités	Valeurs	Unités	Valeurs
Centrales électriques	ESP	10	k€. Mw h ⁻¹	1,9	k€. Mw h ⁻¹	0,2
	FFs	29		34,1		6,8
	ESP or FFs + wet FGD	85		69,6		3,0
	SDA + ESP	67		168,7		5,9
	ESP + carbon filter beds	90 - 95		311,5		73,2
	Activated carbon injection + FFs	50 - 90+		40,8		9,6
Usines d'incinération d'ordures ménagères (ESP et FFs)	ESP or FFs + carbon filter beds	99	k€. t ⁻¹	37,4 - 94,4	k€. t ⁻¹	7,7 - 18,4
	Activated carbon injection + ESP or FFs	50 - 90+		0,3 - 0,9		0,3 - 1,5
	Polishing wet scrubber + ESP or FFs	85		12,2 - 27,0		2,2 - 5,8
Incinérateur de déchets médicaux (ESP + FFs)	Activated carbon injection + FF	50 - 90+	k€. t ⁻¹	66,7 - 149,9	k€. t ⁻¹	105,0 - 99,1
	Polishing wet scrubber + FF	85		472		118

Les chiffres retraçant l'efficacité de capture du mercure selon les systèmes de traitement mis en place sont confirmés par un rapport de l'IPPC (2005). De plus ce document détaille les mesures à mettre en œuvre afin de garantir une efficacité maximale (injection d'un agent fortement oxydant, ...).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Selon l'UNEP (2005) et l'IPPC (2005), on peut réduire les émissions de mercure provenant des incinérateurs de déchets urbains et de déchets médicaux en ajoutant du charbon actif à l'équipement de réduction des particules et du SO₂ déjà en place. Cependant, cette technique n'est pas totalement efficace.

4.4.2.2 Techniques de traitement des effluents gazeux dans l'industrie du chlore

Il existe un BREF concernant l'industrie du chlore⁴⁵ dont la principale recommandation est de passer de la technique utilisant des cellules d'électrolyse à mercure à la technologie des cellules à membrane. Pour la durée de vie restante des installations fonctionnant avec des cellules à mercure (leur arrêt total est prévu pour 2020), il est possible de trouver dans le BREF des recommandations pour réduire au minimum les rejets de mercure dans l'environnement.

4.4.2.3 Techniques de traitement des effluents gazeux dans l'industrie des métaux non-ferreux

Les techniques reprises ci-dessous sont issues du BREF dédié aux métaux non-ferreux⁴⁶. Le mercure est volatil aux températures rencontrées dans la plupart des procédés de dépollution, des techniques additionnelles spécifiques au traitement du mercure gazeux peuvent être nécessaires (OSPARCOM, 1996 ; Finland Zn, 1999 ; VDI 3460, 1997). La production de métaux non-ferreux entraîne le dégagement d'acide sulfurique. Les différentes techniques déclarées comme meilleures techniques disponibles pour la réduction des émissions de mercure dans l'industrie des métaux non-ferreux sont donc adaptées à ces conditions acides.

- ◆ **Procédé Boliden/Norzink.** Ce procédé est basé sur un laveur humide employant la réaction entre le chlorure mercurique et le mercure pour former du chlorure mercurieux (calomel), qui précipite. Le calomel est extrait de la solution de lavage en circulation et partiellement régénéré en HgCl₂ par ajout de chlore gazeux. Le mercure métallique issu de cette réaction est récupéré. Le chlorure mercurique est très toxique ; ce procédé est à réaliser avec la plus grande précaution mais il permet d'atteindre des niveaux d'émissions compris entre 0,05 et 0,1 mg/Nm³ de mercure dans l'air.

⁴⁵ BREF Industrie du chlore et de la soude, 2001 (http://aida.ineris.fr/bref/bref_cadres.htm).

⁴⁶ BREF Industrie des métaux non ferreux, 2001 (http://aida.ineris.fr/bref/bref_cadres.htm).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

- ◆ **Procédé Bolchem.** L'acide sulfurique à 99% oxyde le mercure à température ambiante. Le mercure est précipité comme sulfure avec du thiosulfate. L'acide utilisé est régénéré, par conséquent, aucun acide n'est consommé par le procédé.
- ◆ **Procédé Outokumpu.** Le gaz (à environ à 350°C) est dirigé vers une tour à lit à garnissage où il est lavé à contre-courant avec de l'acide sulfurique à 90% à près de 190°C. Le mercure est précipité. La boue de mercure est retirée de l'acide refroidi, filtrée et lavée.
- ◆ **Procédé au thiocyanate de sodium.** Ce procédé est utilisé sur un four de grillage de zinc. Le gaz est lavé avec une solution de thiocyanate de sodium et le mercure est extrait comme sulfure. Le thiocyanate de sodium est régénéré.
- ◆ **Filtre à charbon actif.** Les filtres d'adsorption à charbon actif servent à éliminer les vapeurs de mercure des effluents gazeux. La fraction de mercure qui passe dans le filtrat est difficile à prévoir ; c'est pourquoi on utilise un système de filtration double, le second filtre servant à récupérer cette fraction résiduelle. Lorsque le premier filtre est usé, il est chargé de charbon frais et le second filtre est utilisé en tête du système. Le charbon peut être régénéré dans un four Herreschoff, tandis que le mercure peut être récupéré. Dans les meilleures conditions d'emploi, les filtres à charbon actif pourraient permettre d'atteindre des concentrations de mercure comprises entre 0,002 et 0,007 mg/m³, à condition que l'on opte pour le système à deux filtres.
- ◆ **Procédé d'échange d'ions Superlig.** Ce procédé utilise l'échange d'ions pour retirer le mercure du produit acide et obtient une concentration en mercure < 0,5 ppm.
- ◆ **Procédé d'ajout de iodure de potassium.** Du iodure de potassium est ajouté à l'acide qui doit au moins avoir une puissance de 93% (puissance déterminée à une température d'environ 0°C). L'iodure de mercure, l'HgI₂, est alors précipité.

Parmi ces procédés, celui de **Boliden/Norzink** est le plus couramment utilisé. Néanmoins, d'autres procédés sont disponibles (OSPARCOM 1996) :

- ◆ **Laveur au sélénium.** Ce procédé est basé sur un laveur humide et emploie la réaction entre le sélénium amorphe dans l'acide sulfurique et le mercure. Ceci aboutit à l'élimination des concentrations élevées de vapeur de mercure.
- ◆ **Filtre à sélénium.** Procédé de lavage sec qui emploie du sélénium amorphe pour réagir avec la vapeur de mercure et ainsi former du séléniure de mercure.
- ◆ **Procédé par sulfure de plomb.** Procédé de lavage sec utilisant des nodules de sulfure de plomb afin d'éliminer le mercure du courant des gaz.

A partir de ces éléments, il nous est impossible de prévoir l'évolution des émissions de mercure car nous ne connaissons pas les équipements déjà existants dans les industries du secteur.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

4.4.3 Techniques spécifiques aux effluents gazeux des centres d'incinération des déchets

Le tableau 4.4 ci-dessous présente des techniques de traitement d'effluents gazeux contenant du mercure. Ces techniques ont été extraites du BREF dédié à l'incinération des déchets⁴⁷.

Tableau 4.4. Techniques de traitement d'effluents gazeux contenant du mercure (centre d'incinération des déchets (d'après le BREF dédié à l'incinération des déchets, 2006).

Technique	Forme chimique traitée	Efficacité	Commentaire
Epuration humide à faible pH et ajout d'additifs	Ionique	95%	Si pH<1
	Elémentaire	0 à 10 %	Ce rendement peut atteindre 20 ou 30 % si on y adjoint l'emploi de : Composés soufrés Charbon actif Oxydant (additif le plus efficace)
Injection de carbone activé pour l'adsorption du Hg	Ionique	n.c.	Ce traitement est possible par chimisorption sur des charbons actifs imprégnés de soufre ou dans des effluents chargés en soufre
	Elémentaire	95%	Permet d'atteindre des effluents contenant du mercure à une concentration < 30 µg.Nm ⁻³
Epurateurs par condensation pour le nettoyage de finition des gaz de combustion	n.c.	n.c.	Traitement d'appoint Ne peut pas être utilisé seul pour atteindre 50 µg.Nm ⁻³
Séparation du mercure en utilisant un filtre en résine	n.c.	n.c.	Peu utilisé dans le secteur
Filtre à charbon actif statique ou filtre de coke	Elémentaire		Technique fortement consommatrice en énergie Concentration des effluents post-traitement < 30 µg.Nm ⁻³

⁴⁷ BREF Incinération des déchets, 2006 (http://aida.ineris.fr/bref/bref_cadres.htm).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

4.4.4 Techniques spécifiques aux effluents gazeux des centrales à charbon

4.4.4.1 Techniques actuelles

Une étude du traitement des émissions gazeuses de mercure provenant de centrales électriques alimentées au charbon (Environnement Canada ; 2004) révèle que certaines techniques de traitement des polluants acides servent aussi à capter le mercure, à divers degrés. En général, le taux d'élimination du mercure est le plus élevé dans les centrales alimentées au charbon bitumineux, suivies des centrales alimentées au charbon subbitumineux. Le taux d'élimination le plus faible se retrouve dans les centrales alimentées par de la lignite. De plus, Environnement Canada (2004) propose également quelques exemples de mesures de lutte contre la pollution qui captent une partie du mercure :

- **Le lavage du charbon** : On utilise beaucoup le lavage du charbon pour retirer le soufre et la cendre du charbon avant la combustion. On rapporte que les méthodes de lavage employées aux États-Unis permettent d'éliminer le mercure dans une proportion qui va de zéro à environ 60%.
- **Les précipitateurs électrostatiques (PES)** : Les précipitateurs électrostatiques sont conçus pour capter les particules. Le taux d'élimination du mercure des PES varie entre 4 et 27%.
- **Les séparateurs à couche filtrante** : Les séparateurs à couche filtrante sont aussi destinés à capter les particules. Leur taux d'élimination du mercure est supérieur à celui des précipitateurs électrostatiques, puisqu'il atteint en moyenne 58%.
- **La désulfuration des gaz de combustion** : La désulfuration des gaz de combustion est destinée à éliminer le dioxyde de soufre, un gaz responsable des précipitations acides. Les systèmes de désulfuration des gaz de combustion secs et humides permettent de retirer de 80 à 90% du mercure gazeux, mais n'affectent aucunement le mercure élémentaire.
- **Les chambres de combustion en lit fluidisé équipées de séparateurs à couche filtrante** : Destinés à réduire les émissions de soufre, ces systèmes atteignent un niveau moyen d'élimination du mercure de 86%.
- **La réduction sélective catalytique (SCR) et la réduction sélective non catalytique (SNCR)** : Les procédés de SCR et de SNCR servent à réduire les émissions d'oxydes d'azote. Les résultats des essais d'élimination du mercure par la SCR et la SNCR ne sont pas concluants. De nouveaux essais exhaustifs sont en cours.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

4.4.4.2 Technologies émergentes

Selon Environnement Canada (2004), le Department of Energy (DOE, USA) finance des recherches sur des techniques émergentes de réduction des émissions de mercure provenant des centrales électriques alimentées au charbon. De plus, l'Office of Fossil Energy du DOE annonce des réductions de 90% des émissions de mercure pour cet usage du charbon d'ici 2010 (US-DOE-OFE, 2001). À cette fin, plusieurs techniques ont fait l'objet d'essais :

- **L'injection d'adsorbants** : Actuellement, l'injection d'adsorbants est la technologie de réduction du mercure la plus susceptible d'être commercialisée pour les centrales électriques. Elle consiste à injecter du charbon activé ou un autre adsorbant directement dans le flux des gaz de combustion. Le mercure que contiennent les gaz de combustion est adsorbé par l'adsorbant, lequel est recueilli en aval par des dispositifs d'interception des particules. L'élimination du mercure dépend de plusieurs facteurs; les résultats préliminaires indiquent un taux d'élimination supérieur à 90% pour les chaudières alimentées au charbon bitumineux.
- **Les lits filtrants au charbon activé** : Les lits filtrants au charbon activé peuvent retirer de fortes concentrations de mercure des incinérateurs de déchets. À l'usine de gazéification du charbon de la société Eastman Chemical, à Kingsport (Tennessee), on obtient un taux d'élimination du mercure égal ou supérieur à 90% grâce à cette technique. Toutefois, aucun essai d'élimination du mercure par les lits filtrants au charbon activé n'a été réalisé dans les centrales électriques alimentées au charbon pulvérisé.
- **La technique *in-situ*** : La technique *in situ* consiste à capter le mercure dans les gaz de combustion à l'aide d'un adsorbant thermoactif produit sur place. L'adsorbant se compose de charbon partiellement brûlé, extrait de la chaudière, injecté dans les gaz de combustion en aval du réchauffeur d'air, puis capté dans un dispositif d'interception des particules. Des essais indiquent qu'on peut ainsi atteindre une efficacité d'élimination du mercure de 90%.

On ignore toujours le coût de ces techniques émergentes de réduction du mercure à l'échelle commerciale, néanmoins, l'expérience américaine a démontré que les coûts réels du respect des règlements de lutte contre la pollution atmosphérique s'avèrent souvent inférieurs aux prévisions (Environnement Canada ; 2004).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

4.5 Autres traitements envisageables

Bien que les techniques exposées dans ce paragraphe ne soient pas spécifiques à un compartiment particulier de l'environnement, elles sont principalement dédiées au traitement des sols pollués par des rejets de mercure.

4.5.1 Bioremédiation

Le laboratoire de biologie végétale de l'université de Barcelone teste la capacité de certaines plantes à fixer le mercure dans leur tissu (et par conséquent de dépolluer leur environnement). Un crucifère donne actuellement les meilleurs résultats (RDT info, 2005). Néanmoins, à ce jour, aucune application commerciale de cette technologie n'est encore disponible. Plus récemment, des réseaux et projets de recherche ont été lancés par l'Union Européenne sur ce thème.

4.5.2 Désorption et lixiviation

Selon le site internet du ministère de l'économie des finances et de l'industrie, les sols et les déchets solides pollués peuvent être l'objet d'une élimination totale avec récupération du mercure soit par désorption thermique (250 à 900°C), soit par lixiviation (Hg solubilisé et récupéré par électrolyse ou par cémentation). Il existe également des traitements de concentration et d'immobilisation temporaire à moyen terme du polluant.

4.5.3 Exemple du traitement du site METALEUROP

En 2004, la société INERTEC a été chargée du traitement des déchets dangereux : sur le site 240 tonnes de catalyseurs souillés au mercure (~250 mg de mercure par kg de catalyseur) étaient à stabiliser/neutraliser avant leur stockage définitif.

Le principe fait appel à une homogénéisation des déchets/réactifs sur un mélangeur. La cadence moyenne de traitement atteint 50 t.j⁻¹. Au final, les déchets sont conformes à la norme NF X30402-2.

Selon INERTEC, le coût d'un tel traitement équivaut à la moitié du coût de l'incinération de déchets mercuriels.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

5. ASPECTS ECONOMIQUES

5.1 Place de la substance dans l'économie française

Comme indiqué au §0, en France, le prix du mercure est estimé à ~ 6 €.kg⁻¹. De même, le marché français du mercure est estimé à ~ 60 k€ en 2005 (importations et exportations). Au niveau européen, le prix du mercure est estimé à 5 €.kg⁻¹ (Commission européenne, 2005a).

Ce chiffre est à comparer avec le chiffre total du marché français « de la métallurgie et de la transformation de métaux » équivalent à ~ 65 milliards d'euros (site internet du Sessi). Le marché du mercure ne représente donc qu'un millionième du marché français de la métallurgie et de la transformation de métaux.

Néanmoins, le mercure entre dans de nombreux procédés de fabrication et dans de nombreux produits. Mis à part quelques rares exemples, une évaluation exhaustive de la place de cette substance dans l'économie française est donc impossible à mener dans le cadre de cette fiche.

5.2 Coût du traitement des déchets et des boues contenant du mercure

Selon INERTEC, le coût d'incinération des déchets contaminés par du mercure ou des composés mercuriques est estimé à 1 000 €.t⁻¹.

Le prix d'enfouissement en centre technique est estimé entre 150 et 250 €.t⁻¹ (en fonction des teneurs de mercure contenues dans les déchets). Néanmoins, à ce prix doit être ajouté celui de la « neutralisation des déchets » estimée à environ 500 €.t⁻¹.

Les deux estimations citées ci-dessus ne concernent que le coût de traitement/stockage, le transport des déchets (considérés comme dangereux) doit être considéré en supplément.

L'épandage des boues contenant du mercure reste une solution infiniment moins coûteuse que toutes les autres solutions (incinération, séchage ou mise en décharge) mais cette solution entraîne un transfert de pollution (Miquel, 2001).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

5.3 Coût économique des mesures prises en dentisterie

Dans un article récent, Vandeven et McGinnis (2005) estiment le coût des installations à mettre en place pour traiter les rejets de mercure issus de l'activité professionnelle des dentistes à 700-1 400 € + 500 à 750 €.an⁻¹ d'entretien (soit environ 730 €.an⁻¹ en considérant une durée de vie moyenne de 10 ans pour ces matériels).

A l'échelle de la France (soit 42 194 dentistes en 1997 selon le site internet de la santé bucco-dentaire), la systématisation de ces équipements représente environ 44 M€ d'investissement et 26 M€ d'entretien annuel (soit environ 31 M€.an⁻¹ en considérant une durée de vie moyenne de 10 ans pour ces matériels).

5.4 Coût de l'impact sur la santé humaine des émissions

Une première estimation des coûts globaux de l'impact sur la santé des émissions atmosphériques de mercure a été effectuée par Rabl et Spadaro (non publié) : 4 900\$ (-4 100€) par kg de mercure émis⁴⁸. Néanmoins, précisons que l'écart type géométrique sur cette estimation est de 6,5.

5.5 Impact économique des mesures de réduction

5.5.1 Industrie du chlore

La société Euro Chlore indique que le marché mondial du chlore est actuellement stable dans le temps. De plus, tous les producteurs de chlore de l'Europe de l'Ouest utilisant la filière « mercure » se sont engagés à fermer ou modifier leurs installations au plus vite, soit avant 2020 (Euro Chlor, 2005). Néanmoins ces industriels insistent sur la nécessité de conserver ce délai afin que les 3 000 M€ nécessaires à la conversion puissent être financés (site internet d'Euro Chlor)⁴⁹.

Selon le nombre d'usines présentes sur le territoire français, à l'échelle de la nation, cette modification de mode de production coûterait environ 400 M€.

L'amélioration de la filière « mercure » est difficilement chiffrable du fait de la multiplicité des techniques à mettre en œuvre (utilisation de rayons ultraviolets pour détecter la présence de fuites de mercure ; contrôle et filtration de la

⁴⁸ Les modalités de calcul de cette estimation sont abordées dans Rabl (2005).

⁴⁹ En Europe, de 1999 à 2004, huit installations utilisant la technologie « mercure » ont été converties à des technologies non-mercuriques et quatre installations ont été définitivement fermées. Ces 12 usines représentaient une capacité annuelle de 1 145 000 tonnes de chlore.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

qualité de l'atmosphère dans la salle des cellule, refroidissement des cellules avant leur ouverture, ...).

5.5.2 Grandes installations de combustion

Le paragraphe 0 présente des données concernant les techniques de réduction des émissions de mercure issues des grandes installations de combustion (GIC). Pour chacune de ces techniques, des estimations de l'investissement nécessaire ainsi que du coût de fonctionnement sont également présentées.

Néanmoins, dans un contexte de multi-pollution, du fait d'un manque de données fiables à la fois sur la teneur en mercure des rejets des GIC (avant traitement) et sur les techniques déjà mises en œuvre dans ces installations, nous ne pouvons pousser plus avant l'estimation économique du coûts de la mise en place des meilleurs techniques disponible de traitement des rejets atmosphériques de mercure.

5.5.3 Lampes fluorescentes

Comme précisé au §0, la substitution des lampes fluorescentes à haut rendement énergétique contenant du mercure par des lampes à incandescence sans mercure (et à moins bon rendement énergétique) n'est pas pertinent du point de vue environnemental dans le contexte des pratiques actuelles de production de l'électricité.

5.5.4 Interrupteurs électriques

Le marché européen des interrupteurs électriques contenant du mercure (0,1 g. par interrupteur) est estimé à plus de 1% du marché total des interrupteurs, soit 1% d'un milliard d'euros (Floyd *et al.*, 2002). Néanmoins, ce marché diminue depuis l'apparition d'alternatives technologiques aux interrupteurs à mercure.

De plus, Floyd *et al.* (2002) estiment que la durée moyenne de vie de tels biens est comprise entre 5 et 10 ans. Cette donnée est à prendre en compte pour évaluer les futurs flux de mercure dans l'environnement suite à l'élimination de ces déchets.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

6 CONCLUSIONS

Selon l'UNEP (2005), bien que le mercure soit l'un des produits toxiques environnementaux les plus étudiés, il subsiste quelques lacunes dans la compréhension d'un certain nombre de questions globales. Ainsi, un surcroît d'informations pourrait aider à assurer une gestion efficace du mercure (données de base sur les utilisations, les rejets, les concentrations dans les environnements locaux, sur les risques, ...).

De plus, d'après Marlière (2003), en l'absence de nouvelles mesures de prévention ou de limitation, les émissions devraient continuer à se réduire mais à un rythme plus modéré que celui observé ces dernières années.

Dans l'hypothèse d'une diminution drastique des rejets à l'horizon 2015 (sans pour autant accroître la quantité de déchets « ultimes » issus du traitement des effluents), il semblerait raisonnable d'encourager, dans un premier temps, les mesures de substitution et dans un second temps pour les produits où la substitution est difficile ou non rentable (lampes fluorescentes, les produits pharmaceutiques, les pièces détachées d'automobiles, ...), d'accroître l'efficacité des filières de collecte et de valorisation des déchets contenant du mercure. Il conviendrait en premier lieu d'organiser et/ou renforcer les systèmes de collecte pour les produits contenant du mercure et dont l'utilisation est croissante (en particulier les pièces détachées automobiles).

Le tableau 6.1 présente les différentes options apparaissant les plus favorables à la diminution des rejets environnementaux de mercure. Néanmoins, il faut noter que certaines des mesures proposées sont déjà partiellement (voire totalement dans le cas des pesticides) mises en œuvre.

Tableau 6.1. Préconisations des mesures à adopter vis à vis des différents produits contenant du mercure

Usages	Préconisations
Batteries	Substitution
Thermomètres	Substitution
Amalgames dentaires	Substitution

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Pesticides	Substitution
Lampes ⁵⁰	Valorisation
INDUSTRIE DU CHLORE	Changement de procédé
Autres usages ⁵¹	Valorisation

Rappelons qu'à ce jour, la quasi-totalité des secteurs responsables d'émissions de mercure dans l'environnement ont déjà appliqué des mesures de traitement des rejets. Cette affirmation souffre d'une exception, les crématoriums, qui rejettent le mercure présent dans les amalgames dentaires. Les quantités de mercure annuellement rejetées par ce processus sont estimées à 3,4 t à l'échelle européenne (Floyd *et al.*, 2002).

⁵⁰ Un système de consigne pourrait par exemple être envisagé pour les produits tels que les tubes fluorescents.

⁵¹ Le développement d'une filière spécifique à chaque type de déchet serait à encourager (par exemple, une filière « automobile » dédiée à la récupération des équipements contenant du mercure avant le recyclage des véhicules en fin de vie.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

7 REFERENCES

7.1 Entreprises, organismes et experts interrogés

BRANKA Ruddy : INERIS (Artifices)

INERTEC : traitement des déchets et du domaine des liants hydrauliques afin de développer de nouvelles technologies pour le traitement des déchets industriels dangereux (<http://www.inertec.fr/>)

MARLIERE Fabrice : INERIS (Textes réglementaires)

MOULET Gérard : SHD (Syndicat des Halgènes et Dérivés)

MOSQUERON Luc : INERIS (Pharmacien)

7.2 Sites internet consultés

ADF : Association Dentaire Française
<http://www.adf.asso.fr/cfm/site/web.cfm>

AFSSAPS : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé (fiche « amalgames dentaires »)
<http://agmed.sante.gouv.fr/hm/10/dentaire/sommaire.htm>

Agence Poitou-Charentes Energie Déchets Eau : APCEDE
<http://www.apcede.com/guide/dangereux/lampe.html>

Aida <http://aida.ineris.fr>

BASOL (Ministère de l'Ecologie du Développement et de l'Aménagement Durable)
<http://basol.environnement.gouv.fr/>

Commission Mixte Internationale USA/Canada
<http://www.ijc.org/php/publications/html/12br/francais/report/chemical/rme.html>

Direction générale des douanes
<http://lekiosque.finances.gouv.fr>

EDF : Electricité de France
<http://www.edf.fr/209i/Accueilfr/LesenergiesEDF/Lethermique.html>

Environnement Canada
<http://www.ec.gc.ca/pluiesacides/acidfact.html>
<http://www.ec.gc.ca/mercury/>

EPA : US environmental protection agency (fiche « mercure »)
<http://www.epa.gov/mercury/>

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

EPER : European Pollutant Emission Register
http://www.eper.cec.eu.int/eper/emissions_pollutants.asp?i=

Euro Chlor : Chlorine Online Information Ressource
<http://www.EuroChlor.org/>

Grenoble eau pure :
<http://grenoble.eau.pure.free.fr/purifier.htm>

ICSCs : International Chemical Safety Cards (Programme International sur la Sécurité des Substances Chimiques)
<http://www.cdc.gov/niosh/ipcs/french.html>

IUPAC : International Union of Pure and Applied Chemistry (fabrication du Cl et Hg)
<http://www.iupac.org/didac/Didac%20Fr/Didac03/Content/R18%20-%20R19.htm>

Lenntech : Charbon actif
<http://www.lenntech.com/fran%E7ais/charbon-actif.htm>

Ministère de l'économie des finances et de l'industrie (fiche « mercure »)
http://www.industrie.gouv.fr/energie/matieres/textes/ecomine_note_avr05.htm

Msc-e : Le Meteorological Synthesizing Centre-East (Moscow, Russia) est un centre de co-operation international pour le programme EMEP (Monitoring and Evaluation of Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe)
http://www.msceast.org/hms/results_map.html#hg

OCDE : Recommandation du Conseil sur les mesures destinées à réduire les émissions de mercure provenant d'activités humaines dans l'environnement
<http://webdomino1.oecd.org/horizontal/oecdacts.nsf/0/5D36A5E762AC7E7EC1257089002B6296?OpenDocument>

Office fédéral de la statistique (Suisse)
http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/nachhaltige_entwicklung/uebersicht/blank/visualising_indicators/04/04_01.ContentPar.0004.DownloadFile.tmp/EPSILON-EPFL.pdf

Pharmacorama (fiche « antiseptiques mercuriels »)
<http://www.pharmacorama.com/ezine/antiseptiques.php>

Santé bucco-dentaire
http://www.cnsd.fr/data/come/chiffres_sante-03.html

Sessi : Statistiques et études industrielles
<http://www.industrie.gouv.fr/sessi/>

US EPA, 2007. Treatment technology in soil, waste, and water,
<http://www.epa.gov/tio/download/remed/542r07003.pdf>

Vidal <http://www.vidal.fr/Substance/thiomersal-3495.htm>

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

7.3 Bibliographie

ADEME, 2004. Observatoire des piles et accumulateurs : La situation en 2003 ; Rapport sur la mise en œuvre des dispositions réglementaires relatives aux piles et accumulateurs, 75 p. (http://www.ademe.fr/htdocs/publications/publipdf/rap_piles.pdf).

AESN (Agence de l'Eau Seine-Normandie), 2004. Bilan des flux, sources et voies de transfert aux eaux de surface du bassin Seine-Normandie des 4 métaux prioritaires (Cd, Hg, Pb, Ni) : Synthèse. AESN/DAI, 2004.

AFSSAPS, 2001. Décision du 14 décembre 2000 relative à l'interdiction d'importation, de mise sur le marché et d'utilisation de certains amalgames dentaires. J.O n° 1 du 2 janvier 2001 (<http://agmed.sante.gouv.fr/htm/10/dentaire/ad141200.pdf>).

Algros, E., Charissou, A.-M., Jourdain, M.-J. et Pojer, K., 2005. Caractéristiques chimiques et écotoxicologiques d'effluents industriels et urbains du bassin Rhône Méditerranée. TSM, 5, 11-20.

AMAP (Arctic monitoring and assessment program), 2005. Mercury - A priority pollutant, fact sheet, janvier 2005, 2 p.

Asari, M., Fukui, K., Sakai, S., 2008. Life-cycle flow of mercury and recycling scenario of fluorescent lamps in Japan., Science of the total environment, 393, 1-10.

BelgoChlore, 2004. Livre blanc du chlore (http://www.belgochlor.be/fr/PDF_FR/WITBOEKF.PDF).

Böhme, F., Rinklebe, J., Stärk, H.J., Wennrich, R., Mothes, S. et Neue, H.U., 2005. A Simple Field Method to Determine Mercury Volatilization from Soils. Environ. Sci. & Pollut. Res., 12, 133-135.

Bonnard R., 2001. Les modèles multimédia pour l'évaluation des expositions liées aux émissions atmosphériques des installations classées. Rapport INERIS DRC-01-25584-ERSA-RBn-n° 445/ra111585.doc

Chevy, 2006. Qualité naturelle des eaux souterraines Méthode de caractérisation des états de référence des aquifères français, BRGM éditions, 238 p.

CITEPA, 2005. Emissions dans l'air en France métropole : métaux lourds, 28p (http://www.citepa.org/emissions/nationale/ML/Emissions_FRmt_MLavr05.pdf)

CITEPA, 2007. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France. Séries sectorielles et analyses étendues, février 2007, 291p, (<http://www.citepa.org/publications/secten-fevrier%202007.pdf>).

CITEPA, 2008. C'est dans l'air (Lettre d'information sur les aspects réglementaires, techniques, scientifiques et économiques de la pollution de l'air), n° 109 (janvier 2008), 6 p.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Commission européenne, 2001a. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) : Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries (<http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>).

Commission européenne, 2001b. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) : Reference Document on Best Available Techniques in the Chlor-Alkali Manufacturing industry (<http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>).

Commission européenne, 2001c. Draft Directive on batteries and accumulators. Draft of 30 mars 2001. Bruxelles.

Commission européenne, 2005a. Communication de la Commission, du 28 janvier 2005, Stratégie communautaire sur le mercure, Journal officiel C 52 du 2 mars 2005.

Commission européenne, 2005b. Integrated Pollution Prevention and Control (IPCC) : Reference Document on Best Available Techniques for larges Combustion Plants (<http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>).

Commission Internationale pour la Protection du Rhin, 2000. Rhin Inventaire 2000 des émissions de substances prioritaires, 79 p.

Croner, 1999. Croner's Substances Hazardous to the Environment. Croner Publications Ltd., Surrey.

Degrémont, 1991. Water treatment handbook (6th edition), 1658p.

Degrémont, 2005. Mémento technique de l'eau (10^{ème} édition), 1928p.

EEA (Agence européenne pour l'environnement), 2003. Les eaux de l'Europe : une évaluation basée sur des indicateurs (Résumé), Environmental issue report, 34, 24 p. (http://reports.fr.eea.eu.int/report_2003_0617_150910/fr/FR_WIR_WWW.pdf).

Environnement Canada, 2004. Les commentaires canadiens sur le standard américain relatif aux émissions de mercure, 12 p. (<http://www.ec.gc.ca/mercury/fr/mcepa.cfm>).

Euro Chlor, 1998. Mercury process for making chlorine.

Euro Chlor, 2005. Chlorine Industry Review 2004-2005, 29 p (<http://www.eurochlor.org/upload/documents/document163.pdf>).

Euro Chlor, 2008. <http://www.eurochlor.org/index.asp?page=745> consulté le 20 février 2008

Finland Zn, 1999. Finnish EPA, Fugleberg, S. 1999, Finnish Expert Report on BAT in Zinc Production.

Floyd, P., Zarogiannis, P., Crane, M., Crane, Tarkowski, S., Bencko, V. et Postle, M. (Dr), 2002. Risks to Health and the Environment. Related to the Use of Mercury Products. RPA REPORT J372/Mercury, 154 p. (<http://europa.eu.int/comm/enterprise/chemicals/docs/studies/rpa-mercury.pdf>).

Galsomies, L., Savanne, D., Letrouit, M.A., Ayrault, S. Charré, B. (1999). Retombées atmosphériques métalliques de métaux en France : estimation par dosage dans les mousses.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

ADEME Editions, Angers, Paris 187 p. Pollution atmosphérique par les métaux : biosurveillance des retombées. EDP Sciences/ADEME, 108 p.

Gombert, S., Galsomiès, L., Raush de Traubenberg, C., Leblond, S ; Losno, R., Colin, J.L., Charré, B. (2005). Pollution atmosphérique par les métaux : biosurveillance des retombées. EDP Sciences/ADEME, 108 p.

INERIS, 2005. Mercure et ses dérivés. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques (<http://www.ineris.fr> ; rubrique Etudes et Recherches / Fiches toxicologiques).

INRS, 1997. Mercure et composés minéraux. Fiche Toxicologique n° 55 ([http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/FT%2055/\\$File/ft55.pdf](http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/FT%2055/$File/ft55.pdf)).

IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control), 2005. Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, 638 p. (<http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>).

Karlsruhe II, 1996. French-German Institute for Environmental Research, University of Karlsruhe, commissioned by UBA Germany Emission Control at Stationary Sources in the Federal Republic of Germany, Volume II, Heavy Metal Emission Control (UBA Research report 104 02 360).

Lindberg, S.E., Wallschlager, D., Prestbo, E.M., Bloom, N.S., Price J. et Reinhart D., 2001. Methylated mercury species in municipal waste landfill gas sampled in Florida, USA, Atmospheric Environment, 35, 4011-4015.

Lamborg, C. H., Fitzgerald, W.F., O'Donnell, J. et Torgersen, T., 2002. A non-steady-state compartmental model of global-scale mercury biogeochemistry with interhemispheric atmospheric gradients. Geochimica et Cosmochimica Acta, 66 1105-1118.

Lindquist, J.A., 1991. Medium and Procedure for the Direct, Selective Isolation of *Edwardsiella tarda* from Environmental Water. (Poster presented at ASM Meeting in Dallas on May 8, 1991). Am. Soc. Microbiol., C-303, 302.

Marlière, 2003. Appui à la réglementation et support à l'inspection des installations classées (DRA-32) Rapport d'opération « e » : Fiche de synthèse sur le mercure. Rapport INERIS, 28 p.

Mason, R.P., Fitzgerald, W.F. et Morel, M.M., 1994. The biogeochemical cycling of elemental mercury: Anthropogenic influences. Geochimica et Cosmochimica. Acta, 58, 31-3198.

Maxson, P.A., Vonkeman, G.H., Brown, N., Stonneehouse, J., Thornton, I. et Kazantzis, 1991. Mercury. Rational Paths through Uncharted Territory. Report prepared for the Commission of the European Communities DG XI.

Miquel, G., 2001. Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport d'information n°261, fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scient. tech., 365 p.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

OECD, 1995. Risk reduction monograph no. 4: Mercury - Background and National Experience with Reducing Risk. OECD Environment monograph series no. 103, OCDE/GD(94)98 ([http://www.oalis.oecd.org/olis/1994doc.nsf/LinkTo/ocde-gd\(94\)98](http://www.oalis.oecd.org/olis/1994doc.nsf/LinkTo/ocde-gd(94)98)).

OMS, 2000. Air Quality Guidelines for Europe. World Health Organization. Copenhagen, 2nd Ed.

OMS, 2004. Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization. Geneva. 3rd ed.

Onyx, 2003. pile(s) dans la bonne boîte, 7p (http://www.onyx-environnement.com/documents/DP_15122003_OB.pdf).

OSPARCOM, 1996. Oslo and Paris Commissions, Description of BAT for the Primary Production of Non-Ferrous Metals (Zinc, Copper, Lead and Nickel).

Pirrone, N., Pacyna, J.M. et Barth H., 2001. Atmospheric Mercury Research in Europe, Special Issue of Atmospheric Environment, 35.

Pirrone, N., Mahaffey, K.R., 2006. Dynamics of mercury pollution on regional and global scales. Atmospheric processes and human exposures around the world, Edition Springer, 744 p.

PNU, 2005 (version française). Evaluation mondiale du mercure, 306 p, (<http://www.chem.unep.ch/mercury/GMA%20in%20F%20and%20S/final-assessment-report-F-revised.pdf>).

PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement), 2002. Evaluation mondiale du mercure, 10 p.

Rabl, A., 2005. Combien dépenser pour la Protection de la Santé et de l'Environnement : un cadre pour l'évaluation des choix. Les rapports de l'Institut Veolia Environnement, 4, 56 p. (<http://www.institutveoliaenvironnement.org/fr/ressources/cahiers/C06DNDJr80ApT97Rb0yArw3x.pdf>).

Rabl, A. et Spadaro, J.V., 2006. Global Health Impacts and Costs due to Mercury Emissions. Non publié.

RDT info, 2005. La Chimie au secours des eaux. Numéro spécial INCO : Recherche & Coopération internationale, p. 38.

Research EU, magazine de l'espace européen de la recherche. Numéro 54, décembre 2007, p.4.

Schuster, P.F., Krabbenhoft, D.P., Naftz, D.L., Cecil, L.D., Olson, M.L., Dewild, J.F., Susong, D.D., Green, J.,R. et Abbott, M.L., 2002. Atmospheric Mercury Deposition during the Last 270 Years: A Glacial Ice Core Record of Natural and Anthropogenic Sources. Environmental Science & Technology, 36, 2303-2310.

Shatalov, V., Malanichev, A., Vulykh, N., Berg, T. et Mano, S., 2001. Assessment of POP transport and accumulation in the environment, Rep. No. EMEP 4/2001. Meteorological synthesizing Centre East - Chemical co-ordination centre, Convention on long - range transboundary air pollution, EMEP, Moscow. 131 p. (<http://www.msceast.org/reps/ER4-2001.pdf>).

SHD (Syndicat des Halogènes et Dérivés), 2004. Chlore et Développement Durable. 36 p.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

SOCOPSE, Source Control of Priority Substances in Europe, EU Specific Targeted Research Project no. 037038, An Inventory and Assessment of Options for Reducing Emissions: Mercury, 2008

Slootweg, J., Hettelingh, J.-P., Posch, M. (eds.), Dutchak, S. et Ilyin, I., 2005. Critical Loads of Cadmium, Lead and Mercury in Europe, Working Group on Effects of the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, Report 259101015/2005, 145 p. (ISBN: 90-6960-119-2).

Sommar, J., Feng, X. et Lindqvist, O., 1999. Speciation of volatile mercury species present in digester and deposit gases. Applied Organometallic Chemistry, 13, 441-447.

Thornton, I, 2001. Pollutants in urban waste water and sewage sludge. I C Consultants Ltd (ICON), London, United Kingdom..

Ullrich, S.M., Tanton, T.W. et Abdrashitova, S.A., 2001. Mercury in the Aquatic Environment: A Review of Factors affecting Methylation. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 31, 241-293.

UNECE ICP, 2003. Heavy Metals in European Mosses : 2000/2001 Survey, 45 p (http://icpvegetation.ceh.ac.uk/metals_report_pdf.htm).

US EPA, 2007. Treatment technology in soil, waste, and water, 137 p. (<http://www.epa.gov/tio/download/remed/542r07003.pdf>).

US-DOE-OFE (United States Department of Energy, Office of Fossil Energy), 2001. Meeting Mercury Standards : DOE Selects 6 Projects to Develop Cost-Saving Technologies for Curbing Mercury Emissions from Coal Power Plants. Techline (News).

Vandeven, J.A. et McGinnis S.L. 2005. An Assessment of Mercury in the Form of Amalgam in Dental Wastewater in the United States. Water Air & Soil Pollution, 164, 349-366.

VDI (Verein Deutscher Ingenieure), 1997. VDI 3460, Emission Control, Thermal treatment of waste.

Vignes, J.L., André, G. et Kapala, F., 1997. Données industrielles, économiques, géographiques sur les principaux produits chimiques, métaux et matériaux - 7^e édition : 1997-98. Société Française de Chimie.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

8 ANNEXE 1 : EMISSIONS DE MERCURE PAR LES INDUSTRIELS DU CHLORE

La pollution par le mercure de l'industrie du chlore est spécifique de la technique de l'électrolyseur à mercure (Commission Européenne, 2001b). Le mercure utilisé à la cathode n'est pas une matière consommable et n'a qu'une fonction de support (SHD, 2004). Néanmoins, compte tenu des caractéristiques du procédé, ce mercure peut être émis par le procédé via l'air, l'eau, les déchets et dans les produits.

En 2002, les émissions totales de mercure dans l'air, l'eau et les produits provenant des installations de chlore en Europe de l'Ouest ont été estimées à 13,9 tonnes, selon un taux d'émission de 1,05 g de mercure par tonne de chlore produite (SHD, 2004). Ces émissions sont majoritairement dirigées vers le compartiment air. De nos jours, le site internet d'Euro Chlor estime l'émission de mercure par les industriels du chlore inférieure à 1% de l'émission totale anthropogénique.

De 1977 à 2003, en Europe de l'Ouest, les émissions de mercure rapportées à la tonne de chlore produite ont été divisées par 25 (figure 8.1). Plus récemment de 1995 à 2003, en Europe de l'Ouest, les émissions de mercure rapportées à la tonne de chlore produite ont été divisées par 2,5 (SHD, 2004). L'industrie du chlore a annoncé un objectif d'émission de mercure inférieur à 1 g par tonne de capacité de chlore à l'horizon 2007 (SHD, 2004) pour l'ensemble des producteurs d'Europe de l'Ouest (y compris la Hongrie, les Républiques Tchèque et Slovaque ainsi que la Pologne). En France, cet objectif a été atteint en 2004 (Euro Chlor, 2005).

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

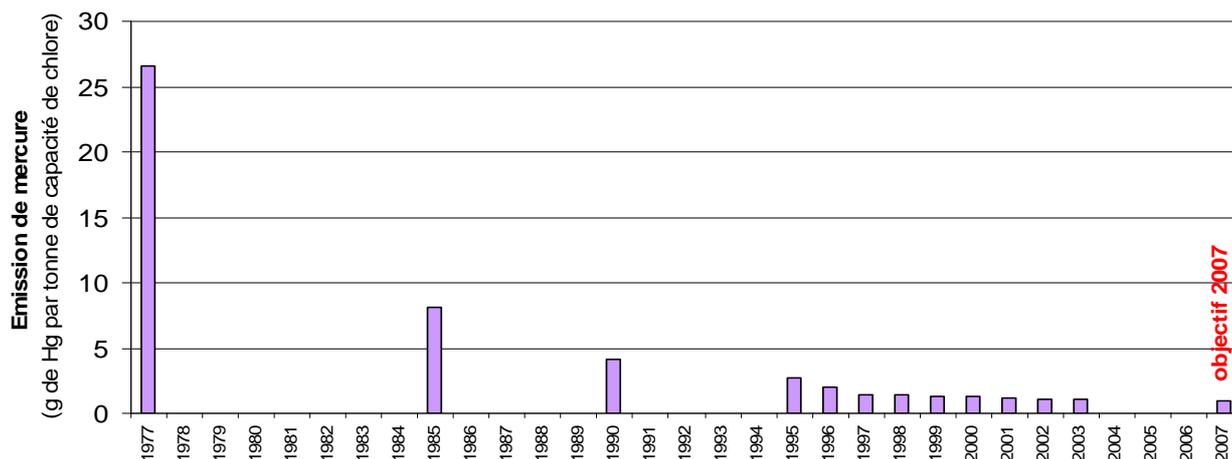


Figure 8.1. Emissions européennes de mercure pour l'industrie du chlore ; exprimées en gramme de mercure émis par tonne de capacité de chlore (données issues de Euro Chlor, 1998 ; SHD, 2004 ; BelgoChlore, 2004).

Plus en détails, sur les vingt dernières années, Euro Chlor (2005) rapporte les émissions de mercure (figure 8.2) ayant pour origine les industries de synthèse du chlore et en fonction de trois types de rejets : les émissions atmosphériques, aquatiques ainsi que les émissions vers les produits.

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

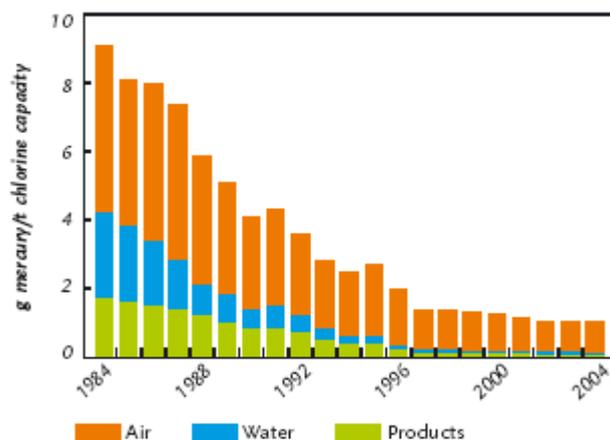


Figure 8.2. Emissions européennes de mercure pour l'industrie du chlore vers l'air, l'eau et les produits ; exprimées en gramme de mercure émis par tonne de capacité de chlore (graphique extrait de Euro Chlor, 2005).

La figure 8.3 représente un focus sur les émissions européennes de mercure pour l'industrie du chlore sur la période 1995-2006.

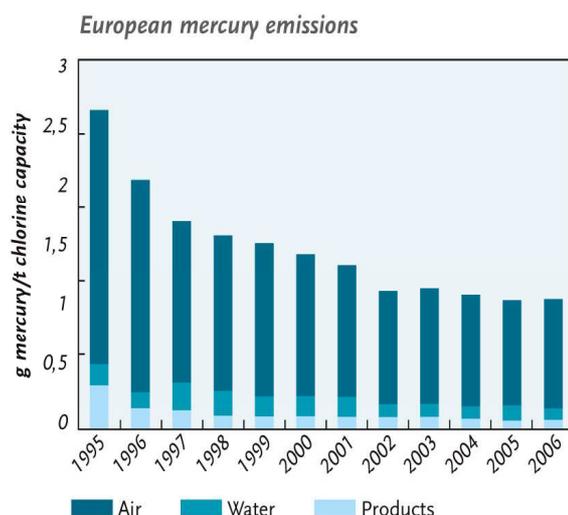


Figure 8.3. Emissions de mercure de l'industrie du Chlore vers l'air, l'eau et les produits (Euro Chlor, 2008)

MERCURE ET PRINCIPAUX COMPOSES :

PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

La figure 3.4 montre que depuis 2002, les émissions de mercure sont proches de 1 g.t^{-1} de chlore produit (objectifs des industriels pour 2007).

Selon la Commission européenne (2001b), les installations à cellules à mercure les plus performantes atteignent des pertes totales de mercure dans l'air, dans l'eau et avec les produits, de l'ordre de 0,2 à 0,5 g de mercure par tonne de capacité de chlore, en moyenne annuelle (Tableau 8.1).

Tableau 8.1. Rejets de mercure dans les installations de fabrication de chlore par cellule à mercure (d'après la Commission européenne, 2001b).

	g Hg/tonne de capacité de chlore
Air : salle des cellules	0,2 - 0,3
Air : dégagements de gaz industriels (effluents gazeux), y compris l'unité de distillation de Hg	0,0003 - 0,01
Air de refroidissement non traité de l'unité de distillation de Hg	0,006 - 01
Eau, émissions du processus industriel	0,004 - 0,055
Soude caustique	0,01 - 0,05
Total	0,2 - 0,5