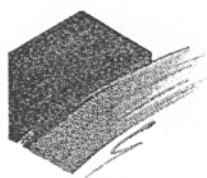


N°22

17

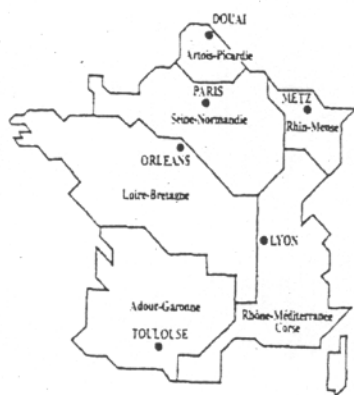


Agences de l'Eau



ETUDE QUALITATIVE ET QUANTITATIVE DES SOURCES DIFFUSES DE MERCURE

ETUDE QUALITATIVE ET QUANTITATIVE DES SOURCES DIFFUSES DE MERCURE



*Document réalisé sous la direction des Agences de l'Eau
et du Ministère de l'Environnement*
Chargé d'étude : ORGANISATION ET ENVIRONNEMENT
Auteur : Sylvie LE TOUCHE
Chefs de projet : Dominique LARRE, Marc TRANCART
9-9 bis rue d'Arcueil
94250 GENTILLY
450 exemplaires
100 F
Novembre 1992

0.1 INTRODUCTION	1
0.2 QUELQUES RAPPELS SUR LES DANGERS PRESENTES PAR LE MERCURE	2
0.2.1 Toxicologie	
0.2.1.1 Effets observés de la contamination	
0.2.1.2 Recommandations de l'OMS	
0.2.2 Ecotoxicologie	
0.2.3 Concentrations de mercure trouvées dans les organismes aquatiques	
0.3 PROBLEMATIQUE SUR LA DEFINITION DES REJETS DIFFUS	3
0.4 EXPLICATION DES CHIFFRAGES	4
 PREMIERE PARTIE : LE MERCURE DANS L'ENVIRONNEMENT	 5
1.1 CARACTERISTIQUES DES COMPOSES MERCURIELS	5
1.1.1 Les différentes formes du mercure	
1.1.2 Propriétés physiques du mercure élémentaire	
1.1.3 Spéciation du mercure	
 1.2 LE MERCURE DANS L'EAU ET LES SEDIMENTS	 6
1.2.1 Spéciation du mercure dans l'eau	
1.2.2 Méthylation du mercure divalent dans l'eau et les sédiments	
1.2.2.1 Description du processus	
1.2.2.2 Comparaison entre eaux douces et océan	
1.2.3 Absorption du mercure sur les sédiments et les MES	
1.2.4 Ordre de grandeur des concentrations et des flux "bruts" en mercure de quelques fleuves français	

1.3	<i>LE MERCURE DANS L'ATMOSPHERE</i>	8
1.3.1	Composés mercuriels présents dans l'atmosphère	
1.3.2	Caractéristiques des composés mercuriels présents dans l'atmosphère	
1.3.3	Emissions naturelles de mercure dans l'atmosphère	
1.4	<i>LE MERCURE DANS LES SOLS</i>	9
1.4.1	Présence du mercure à l'état naturel dans les sols	
1.4.2	Les sources de pollution des sols par le mercure	
1.4.3	Devenir du mercure dans les sols	
1.4.4	Concentrations de mercure dans les sols	
1.5	<i>TRANSFERTS EAU/ATMOSPHERE/SOLS</i>	10
1.5.1	Déposition	
1.5.2	Retour du mercure dans l'atmosphère	
1.5.3	Blocage du mercure	
	DEUXIEME PARTIE : SOURCES DE POLLUTION DIFFUSES PAR LE MERCURE	13
2.1	<i>POLLUTION ATMOSPHERIQUE</i>	13
2.1.1	Sources de pollution atmosphérique par le mercure	
2.1.1.1	Introduction	
2.1.1.2	Combustion de charbon	
2.1.1.3	Combustion d'autres combustibles fossiles	
2.1.1.4	Exploitation de minerais	
2.1.1.5	Pollution atmosphérique industrielle	
2.1.1.6	Incinération d'ordures ménagères	
2.1.1.7	Incinération des déchets hospitaliers	
2.1.1.8	Crématoires	

2.1.2 Type d'espèces mercurielles rejetées dans l'atmosphère en fonction de la source

2.1.3 Flux total de mercure dans l'atmosphère

2.2 *POLLUTION DIFFUSE AQUATIQUE DIRECTE*

18

2.2.1 La dentisterie

2.2.2 Laboratoires

2.2.3 Lixiviation dans les décharges (pollution des eaux souterraines)

2.2.4 Récapitulatif sur les rejets dans les eaux de surface

2.3 *RECHERCHE DES PRODUITS CONTENANT DU MERCURE ET SUSCEPTIBLES DE FINIR DANS LES ORDURES MENAGERES*

21

2.3.1 Piles et accumulateurs

2.3.1.1 Les piles boutons à oxyde de mercure

2.3.1.2 Les piles standard alcalines

2.3.1.3 Piles salines

2.3.1.4 Piles zinc air

2.3.1.5 Piles au lithium

2.3.2 Eclairage

2.3.3 Appareils de mesure

2.3.3.1 Thermomètres

2.3.3.2 Autres instruments de mesure

2.3.4 Relais, contacteurs et divers petits composants

2.3.5 Produits pharmaceutiques

2.3.6 Les amalgames dentaires

2.3.6.1 Composition des rejets d'amalgames des cabinets dentaires

2.3.6.2 Devenir des rebuts d'amalgames

3.1	<i>GENERALITES SUR CHACUN DES BASSINS</i>	29
3.1.1	Rhin-Meuse	
3.1.2	Rhône-Méditerranée-Corse	
3.1.3	Seine-Normandie	
3.1.4	Artois-Picardie	
3.1.5	Loire-Bretagne	
3.1.6	Adour-Garonne	
3.2	<i>REJETS ATMOSPHERIQUES</i>	30
3.3	<i>REJETS AQUATIQUES DIFFUS</i>	33
3.4	<i>COMPARAISON AVEC LES REJETS PONCTUELS</i>	34

QUATRIEME PARTIE : LIMITATION DES POLLUTIONS DE SOURCES DIFFUSES
PAR LE MERCURE 37

4.1	<i>LES ACTIONS EN COURS</i>	37
4.1.1	Les piles et accumulateurs	
4.1.1.1	De récentes réglementations	
4.1.1.2	Peu de producteurs concernés	
4.1.1.3	Le problème des piles boutons	
4.1.1.4	Circuits de collecte des piles boutons et autres déchets mercuriels	
4.1.2	Les amalgames dentaires	
4.1.2.1	Etats des réseaux de collecte à ce jour	
4.1.2.2	Les méthodes de dépollution	
4.1.2.3	Les substituts	
4.1.2.4	Outil de communication	

4.1.3 Traitement des fumées d'incinération des déchets domestiques et industriels

4.1.4 Mercure utilisé pour les tests de DCO

4.2 *LES PRINCIPALES REGLEMENTATIONS*

40

PREAMBULE

0.1. INTRODUCTION

Les travaux de recherche menés au cours des années 70, tendaient à placer les sources naturelles (dégazage de la croûte terrestre...) principales responsables des teneurs en mercure mesurées dans les eaux douces. Les années 80 et 90 révèlent au contraire une responsabilité accrue des activités humaines.

L'accident de Minamata a déclenché un processus de prise de conscience croissante dans les pays occidentaux. La consommation de mercure en France est passée de 300 tonnes /an en 1970 à 90 tonnes/an en 1990 (OCDE, Cossa). Les producteurs de chlore et de soude, principaux utilisateurs de ce métal, ont largement contribué à cette diminution. Si les rejets ponctuels des industries sont depuis longtemps suivis, les sources de pollution diffuses par le mercure furent plus rarement l'objet d'investigations car leur identification et leur quantification peut s'avérer dépendant d'un grand nombre de paramètres.

Les sources diffuses sont souvent en grand nombre et les polluants ont la possibilité d'atteindre le milieu aquatique par différents cheminements. Les substances sont susceptibles d'être rejetées directement dans les eaux, avec ou sans traitement préalable. Si elles sont rejetées dans l'atmosphère, il y a déposition partielle au niveau du sol (déposition sèche ou humide, par voie pluviale), une partie pouvant atteindre les eaux de surface par ruissellement.

Cette étude tente de montrer pourquoi et comment les rejets diffus peuvent être pris en compte dans la politique de réduction des apports de mercure dans l'environnement aquatique.

Une première partie offre un panorama de l'état des connaissances sur les propriétés du mercure, les différentes formes chimiques sous lesquelles il peut être trouvé au cours des diverses étapes de son cycle dans l'environnement. L'accent sera mis sur les échanges entre les milieux atmosphériques et aquatiques, ceux-ci étant à la base des teneurs mercurielles présentes dans les fleuves et les rivières.

La deuxième partie donne une évaluation qualitative et quantitative des apports diffus issus des différentes branches industrielles et ménagères en précisant l'importance relative des sources diffuses non anthropiques. Les chiffres utilisés au cours de l'étude sont expliqués.

La troisième partie est consacrée à la répartition des diverses sources diffuses sur les six bassins français. Il a été tenté d'effectuer des comparaisons avec les rejets ponctuels en fonction des données disponibles; toutefois, il semblerait que les chiffres officiels sur les rejets ponctuels soient à prendre avec réserve.

La quatrième partie décrit les actions en cours aux échelles nationales et régionales. Des rappels concernant la réglementation, française ou européenne, sont faits pour chacune des sources de pollution abordées ceci afin d'éclairer le lecteur sur l'adéquation entre les normes existantes et les conditions requises pour la prévention des contaminations diffuses du milieu aquatique par le mercure.

0.2. QUELQUES RAPPELS SUR LES DANGERS PRESENTES PAR LE MERCURE

0.2.1 Toxicologie

Les accidents de Minamata (ingestion de poissons contaminés par le méthylmercure), au Japon, et en Irak (intoxication par consommation de semences traitées avec des pesticides mercuriels) ont apporté de nombreuses informations sur la toxicité du mercure sur l'homme.

Le mercure à l'état métallique présente une toxicité modérée mais se trouve facilement méthylé dans la nature. Le méthylmercure en revanche est extrêmement toxique pour l'homme.

La forme sous laquelle se trouve le mercure, organique, ou inorganique, détermine la voie d'intoxication possible :

- *Méthylmercure*

Le méthylmercure peut être absorbé à travers la peau, les voies respiratoires et digestives.

Par le biais de la consommation de poisson et de crustacés, principale source de contamination de l'homme (10 fois à 100 fois plus importante que l'absorption par inhalation), l'absorption du méthylmercure est pratiquement totale.

- *Mercure métallique (sous forme vapeur)*

L'absorption du mercure gazeux dans les poumons est proche de 90 %.

0.2.1.1 Effets observés de la contamination

L'empoisonnement par le mercure se manifeste par des troubles du système nerveux résultant d'affections du cerveau et de la moelle épinière. On trouve les concentrations de méthylmercure les plus importantes dans les reins.

0.2.1.2 Recommandations de l'OMS

L'OMS a évalué une quantité tolérable d'absorption hebdomadaire de mercure (PTWI) de 5 µg/kg (poids corporel), 3,3 µg/kg (poids corporel) pouvant au maximum être présents sous forme méthylée. Ce PTWI inclut un facteur de sécurité de 6 à 10 pour les adultes, ne comprend pas de facteur de sécurité pour les populations à risque (enfants en bas âge, femmes enceintes, fœtus), et laisse une faible marge pour les femmes allaitant.

Pour comparaison, la valeur limite de teneur en mercure dans l'eau potable en France a été fixée à 1 µg/l. Sur la base de 14 litres par semaine et d'un poids corporel moyen de 70 kg, la dose hebdomadaire est inférieure en France à 0,2 µg/kg (poids corporel). Cette norme donne une valeur seuil 25 fois plus faible que la PTWI évaluée par l'OMS.

Méthode d'analyse : Les estimations de ces PTWI sont déduites des mesures de mercure réalisées sur les cheveux humains. Le méthylmercure se convertit en mercure inorganique dans les tissus humains ou animaliers. La durée de l'exposition et les intervalles de temps compris entre les différents instants de mesure détermine les teneurs en mercure présent sous forme Hg^{2+} .

0.2.2 Ecotoxicologie

Les concentrations naturelles de mercure dans les poissons sont comprises entre 0,05 mg/kg et 0,3 mg/kg. Les valeurs limites internationales varient de 0,4 à 1,0 mg/kg de poisson.

La concentration létale sur 96 h d'exposition de poissons d'eaux douces varie entre 33 et 400 µg/l.

Le mercure inorganique se révèle toxique sur les microorganismes aquatiques pour des concentrations de métal dans le milieu supérieures à 5 µg/l; le mercure organique à des teneurs environ 10 fois plus faibles (IPCS, 1989).

Les végétaux terrestres sont les êtres vivants les moins sensibles au mercure.

TEMPS DE DEMI VIE BIOLOGIQUE DU MERCURE CHEZ LES POISSONS EN EAUX DOUCES (temps nécessaire à l'élimination de 50 % de la quantité absorbée)

Organisme	t1/2 (0,693K), en		Conditions expérimentales
	jours	Hg ²⁺ CH ₃ Hg ⁺	
Brochet (Esox lucius)	-	750	CH ₃ Hg lié à des protéines et administré perorallement (salinité : 6.10 ⁻³)
Anguille (Anguilla vulgaris)	-	910	idem

Source : Järvenpää et al, 1970.

0.2.3 Concentrations de mercure trouvées dans les organismes aquatiques

Les teneurs typiques de mercure mesurées dans les poissons d'eaux douces sont comprises entre 0,2 et 7 mg/kg de poids frais (OCDE, 1991).

0.3. PROBLEMATIQUE SUR LA DEFINITION DES REJETS DIFFUS

Avant d'aborder toute quantification des rejets diffus de mercure dans l'environnement, il est nécessaire d'explicitier la signification de certains termes employés tout au long de ce rapport relativement aux différents types de sources.

- *Pollution aquatique de source ponctuelle :*

Type de pollution de l'eau résultant du rejet des eaux usées en un point identifiable. Les sources de pollution ponctuelles courantes sont les effluents des sites industriels et des stations d'épuration des eaux usées urbaines (définition de l'EPA).

- *Pollution aquatique de source diffuse :*

Pollution causée par les sédiments, les nutriments, et les substances organiques ou toxiques, tous ces éléments étant issus des activités agricoles ou des retombées atmosphériques, et emportés vers les lacs, et les rivières ou même les eaux souterraines par ruissellement et drainage. Il y a

pollution diffuse lorsque les concentrations de ces composants dans les milieux aquatiques dépassent les teneurs naturelles (définition de l'EPA).

Les sources de pollution diffuse ne sont liées à aucun emplacement identifiable.

Des quantités importantes de substances toxiques peuvent être introduites dans l'environnement de façon involontaire ou accidentelle lors du stockage ou du transport. Il s'agit alors de sources de pollution ponctuelles, malgré la difficulté à maîtriser ces rejets.

Les rejets diffus comprennent en particulier les rejets d'origine agricole, les retombées atmosphériques, les sources provenant d'usage de produits chimiques dans certaines activités non directement liées à des processus de transformation ou production, et certaines sources historiques.

- *"Petits" rejets ponctuels :*

Certains rejets en toute rigueur ponctuels ont été pris en compte dans les rejets diffus. L'exemple caractéristique est le problème des rejets de mercure de la dentisterie par les crachoirs, qui représentent un ensemble de petits rejets ponctuels. Le grand nombre de dentistes en France et les faibles quantités de mercure rejetées par chacun des praticiens explique la prise en compte de ce secteur avec les sources de pollution diffuses.

0.4. Explication des chiffrages

Le principe de chiffrage adopté tout au long de cette étude est basé sur la connaissance des quantités de mercure consommées par chacun des secteurs d'activités concernés et la déduction des rejets de mercure occasionnés à la suite des différentes utilisations.

L'évaluation de l'impact de la dissémination de chacun des composés mercuriels dans la nature va être réalisée suivant la connaissance de l'importance relative de chacun des polluants et de leurs compartiments environnementaux respectifs (eau, sédiments, biotope, atmosphère).

Pour les évaluations des taux de mercure à l'état naturel dans l'environnement, les chiffres sont issus de publications scientifiques. Les mesures ont souvent été réalisées à l'échelle européenne (ou même sur l'hémisphère septentrional). Néanmoins, elles peuvent, par comparaison, nous éclairer sur les niveaux de contamination de source anthropique pour chacun des bassins.

Ayant répertorié les secteurs d'activités produisant des matériaux à base de composés mercuriels, nous nous sommes attachés à suivre le devenir de ces produits dans l'environnement pendant et après leur utilisation, ceci à partir de la connaissance des propriétés physico-chimiques de chacun des composés mercuriels mis en présence. Les paramètres physico-chimiques considérés sont la solubilité dans l'eau, la pression de vapeur, le coefficient de répartition octanol/eau, et le taux de dégradation dans les sols.

PREMIERE PARTIE : LE MERCURE DANS L'ENVIRONNEMENT

1.1. CARACTERISTIQUES DES COMPOSES MERCURIELS

1.1.1. Les différentes formes du mercure

La répartition des différents composés du mercure dans les compartiments environnementaux s'explique en grande partie par leurs capacités respectives de solubilisation dans l'eau et leurs possibilités de bioaccumulation dans les tissus vivants.

LES DIFFERENTES FORMES DU MERCURE DANS L'ENVIRONNEMENT

formes volatiles	Hg^0 , $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$
formes solubles dans l'eau ou espèces réactives sur matériaux particuliers	Hg^{2+} , HgX_2 , HgX_3^- , HgX_4^{2-} avec $\text{X} = \text{OH}^-$, Cl^- , Br^- HgO en particules aérosols
espèces non réactives	CH_3Hg^+ , CH_3HgCl , CH_3HgOH et autres composés organomercuriques, $\text{Hg}(\text{CN})_2$, HgS et Hg^{2+} liés au soufre dans les fragments de matières organiques.

Sources : IPCS, 1989

1.1.2 Propriétés physiques du mercure élémentaire

N° atomique	80
Masse atomique	200,6
Point de fusion	-39°C
Point d'ébullition	357°C
Masse volumique	13,6 g/cm ³ à 20°C
Résistivité	95,8.10 ⁶ ohm/cm à 20°C
Tension de vapeur	357°C (1 mm Hg); 357 °C (760 mm Hg)
Valence	+1, +2

Le mercure est un métal argenté liquide à température ambiante dont la pression de vapeur est élevée (à 20°C, la concentration d'équilibre est de 13 mg/m³, à 30°C, elle est de 30 mg/m³).

Insoluble dans l'eau, Hg^0 a un coefficient de répartition atmosphère-eau extrêmement élevé et sera donc en faible quantité dans le milieu aquatique.

1.1.3 Spéciation du mercure

Le mercure possède trois degrés d'oxydation, Hg^0 (métallique), Hg^+ (mercureux) et Hg^{2+} (mercurique).

En plus des sels mercureux et mercuriques, ce métal peut également former des composés organométalliques. Ceux-ci, malgré leur relative stabilité, sont susceptibles d'être l'objet de réactions dans certains organismes vivants ou de se dégrader.

La plupart des composés du mercure monovalents sont difficilement solubles. Au contraire les sels de mercure divalent sont plus facilement solubles (sauf exception telle que HgS).

1.2. LE MERCURE DANS L'EAU ET LES SEDIMENTS

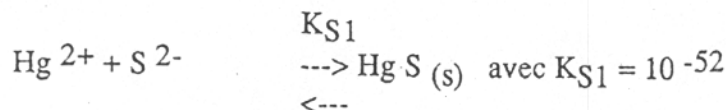
Le mercure se transforme dans l'environnement par oxydation, réduction biotique et abiotique, bioconversion des formes organiques et inorganiques, et photolyse des organomercuriels.

1.2.1 Spéciation du mercure dans l'eau

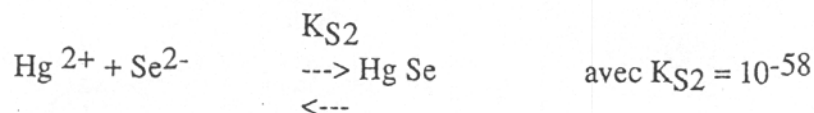
Le mercure divalent, complexé ou non par des espèces organiques, est la forme la plus fréquemment rencontrée dans les eaux. Sa complexation dépend des concentrations en ions S^{2-} , Se^{2-} et de façon moins déterminante en Te^{2-} .

L'acidité et les conditions d'oxydo-réduction régulent l'activité de ces anions.

De fait, aux conditions naturelles de pH, l'activité de S^{2-} , précipitant le plus réactif vis à vis du mercure divalent, est faible :



Les ions de sélénium, Se^{2-} , réagissent de façon analogue avec le mercure divalent avec une constante d'équilibre plus faible, et produisent le tiemannite (sélénium mercurique) :



La formation de sulfure mercurique est prédominante.

1.2.2 Méthylation du mercure divalent dans l'eau et les sédiments.

1.2.2.1 Description du processus.

La méthylation du mercure gouverne son transport en milieu aquatique.

Le mercure se transforme en méthylmercure sous l'action de bactéries sulfatoréductrices en milieu pur oxygéné. Fitzgerald a montré que la méthylation du mercure pouvait aussi avoir lieu en milieu oxygéné sur les parois de cellules phytoplanctoniques dont la surface constitue le milieu réducteur.

Les trois principaux paramètres directeurs de la méthylation du mercure de l'eau sont :

- *les concentrations en bactéries*

Si les teneurs en bactéries sont importantes, les concentrations en méthylmercure augmentent en conséquence.

- *les quantités de sédiments et de MES*

La méthylation a lieu sur les matières en suspension et dans les sédiments. Ce processus est d'autant plus important dans les milieux aquatiques qu'ils contiennent plus de sédiments ou de MES.

- *l'acidité du milieu*

La formation de méthylmercure est favorisée en milieu acide ou neutre. En milieu basique, la biométhylation produit préférentiellement le diméthylmercure.

La contamination des poissons est accrue en milieu acide par l'augmentation de la mobilité du méthylmercure, composé hydrosoluble, dans les sédiments.

1.2.2.2 Comparaison entre eaux douces et océan.

Très grossièrement, les eaux douces ont des charges moyennes en MES de l'ordre de 20 mg/l, c'est à dire environ 400 fois plus que les eaux océaniques.

Les teneurs en matières organiques et bactériologiques sont aussi plus élevées dans les lacs et les rivières qu'en milieu marin.

Le mercure présentant une grande affinité pour les MES, sa méthylation due à l'activité bactériologique est accrue dans les eaux douces : les teneurs en méthylmercure en sont plus importantes (Cossa, conversation téléphonique 1991).

Les niveaux de contamination des eaux douces sont fortement dépendant des variations de pH.

Les mesures de mercure dans l'environnement aquatique ont pu déceler un niveau naturel de mercure dans les rivières et les lacs de l'ordre de 1 à 3 ng/l (IPCS, 1989).

1.2.3 Absorption du mercure sur les sédiments et les MES

Le mercure minéral absorbé sur les matériaux particuliers est difficilement désorbé. Ainsi, les sédiments marins ou d'eau douce constituent un dépôt important pour les formes minérales du mercure. Les concentrations de mercure sur les sédiments océaniques seraient de l'ordre de 20 à 60 ng/g (Young et al, 1973 ; Cox et McMurty, 1981 ; Baldi et Bargagli, 1982) dans des zones non contaminées. Dans les sédiments proches des usines de chlore alcalins, ces teneurs en mercure peuvent atteindre plusieurs milliers de ng/g (Thompson et al, 1980).

Grâce à ses grandes facultés d'adsorption sur les particules, le mercure se trouve en petite quantité en solution.

Le mercure élémentaire absorbé sur les particules peut être désorbé par réduction biologique et transformé en composé volatile mercuriel.

1.2.4 Ordre de grandeur des concentrations et des flux "bruts"
en mercure de quelques fleuves français

CONCENTRATIONS ET FLUX EN MERCURE
DANS QUELQUES FLEUVES

Fleuve	Concentration dissous (ng/l)	Concentration particulaire (ng/l)	Flux total (dissous + particulaire) (tonnes/an)
Charente	2,9 (1)	1,20 (1)	0,005 (0,01 + 0,04)
Loire	2,2 (1)	0,35 (1)	0,50 (0,06 + 0,44)
Garonne + Dordogne	3,0 (2)	0,40 (3)	0,94 (0,07 + 0,87)
Rhône	1,8 (4)	0,46 (4)	1,00 (0,10 + 0,90)

Sources : Cossa, Noël, 1989 - Cossa, Noël, 1987 - Donard, 1983 -
Cossa, 1988

1.3. LE MERCURE DANS L'ATMOSPHERE

1.3.1 Composés mercuriels présents dans l'atmosphère

Dans l'atmosphère, le mercure est présent à 90 % à l'état fondamental. Les 10 % de mercure atmosphérique restant se composent de mercuriels méthylés et diméthylés, de mercure particulaire (pour moins de 1 % du mercure atmosphérique total).

1.3.2 Caractéristiques des composés mercuriels présents dans l'atmosphère

Seul le mercure élémentaire a une longue durée de vie dans l'atmosphère, comprise entre deux mois et trois ans. Il est insoluble dans l'eau.

Les autres composés volatiles réagissent rapidement par photooxydation, en particulier en été.

Une quantité non négligeable de $(CH_3)_2Hg$ est émise dans l'atmosphère mais son temps de résidence n'est que de quelques jours voire quelques semaines car il se dégrade de façon photochimique sous l'action des radicaux OH.

1.3.3 Emissions naturelles de mercure dans l'atmosphère

Le dégazage de la croûte terrestre est à l'origine de rejets atmosphériques de l'ordre de 25 000-150 000 tonnes de mercure par an à l'échelle mondiale (IPCS, 1989).

L'échappement de composés mercuriels volatiles de l'océan pourrait être une source importante de mercure atmosphérique (Cossa, 1990).

Toujours à l'échelle mondiale, les rejets anthropiques de mercure dans l'atmosphère, exploitation de minerais, industrie, combustion de fuels fossiles, de charbon, incinération d'ordures ménagères représentent 1000 à 6000 tonnes par an (Nriagu et Pacyna, 1988). Ces rejets anthropiques ont des conséquences mesurables sur les zones industrialisées, même s'ils ne représentent qu'une faible contribution aux apports atmosphériques en comparaison avec les émissions atmosphériques naturelles de mercure

Selon Fitzgerald, les émissions de mercure gazeux dans l'atmosphère de source terrestre sont par unité de surface supérieures à celles de source océanique, cette propriété étant caractéristique des gaz rares ("Cycling of mercury between the atmosphere and oceans", Ed. Buat-Ménard, W.F.Fitzgerald, 1986). Cette constatation est une des composantes de teneurs plus importantes en mercure dans les régions côtières (Brosset, 1981).

Selon le CITEPA (Centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique), les concentrations de mercure contenues dans un air non contaminé sont comprises entre moins de 1 et 10 ng/m³.

Sur des sites industrialisés, ces teneurs sont comprises entre 20 et 50 ng/m³ (OCDE, 1991).

1.4. LE MERCURE DANS LES SOLS

1.4.1 Présence du mercure à l'état naturel dans les sols

On le trouve à l'état naturel dans les minerais de cinabre, de formule HgS.

Les roches ignées, métamorphiques et sédimentaires renferment du mercure mais ce sont les roches ultrabasiques et alcalines qui présentent les teneurs les plus importantes. Parmi les roches sédimentaires, les schistes bitumineux sont les plus riches en mercure.

Le cinabre contient 86,2 % de mercure. Les teneurs minimales des minerais sont de l'ordre de 0,005 à 0,01 % de mercure. Le mercure s'échappe naturellement de son habitat initial par des phénomènes tels que dégazage terrestres ou d'irruptions volcaniques.

Il est par ailleurs disséminé dans l'atmosphère et le milieu aquatique à la suite d'atteintes aux gisements naturels : feux de forêts, exploitation des minerais, combustion du charbon ou du pétrole...

1.4.2 Les sources de pollution des sols par le mercure sont :

- Dispersion du mercure sur les sols cultivés via les épandages de boues d'épuration et de compost pouvant en contenir.
- Lixiviation du métal dans les sols après déposition atmosphérique.
- Le mercure est bien sûr aussi trouvé dans les décharges.

1.4.3 Devenir du mercure dans les sols.

Les ions métalliques ont une grande capacité d'adsorption sur les particules solides. Le sol se comporte donc comme un excellent épurateur vis-à-vis des métaux lourds toxiques, mercure compris, limitant leur entraînement vers les eaux de drainage.

Les conditions anaérobies, prédominantes dans les décharges, favorisent la réduction bactériologique de sulfates, nitrates et hydrates de carbone. Les sulfates sont réduits en sulfures, composés qui provoquent la précipitation des métaux lourds et en particulier du mercure inorganique, empêchant en partie toute dissolution et infiltration du métal dans les sols par lixiviation.

Dans le cas des métaux présents à l'état de trace, la solubilité est contrôlée par la spéciation du métal qui peut néanmoins être ultérieurement réduit par adsorption et échange d'ions.

Le mercure est en général peu mobile dans le sol.

Il s'adsorbe fortement sur les particules argileuses et sur les particules humiques. Il n'est que très peu absorbé par les racines des plantes et une contamination de la végétation par le mercure contenu dans les sols est très improbable.

Les composés organiques mercuriels dotés d'une pression de vapeur importante ont tendance à s'échapper des décharges vers l'atmosphère.

1.4.4 Concentrations de mercure dans les sols

La faible mobilité verticale du mercure dans les sols explique les très faibles quantités de métal mesurées dans plusieurs nappes phréatiques, à savoir < 1 ng/l (Borg & Jahansson, Suède, 1989).

Les teneurs mesurées dans les sols sont d'environ 20 à 625 µg/kg (IPCS, 1989).

Dans l'écorce terrestre, le mercure est présent à une concentration moyenne de l'ordre de 20 µg/kg.

1.5. TRANSFERTS EAU/ATMOSPHERE/SOLS

1.5.1 Déposition

a - Déposition humide

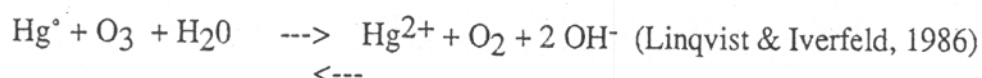
- Déposition humide des substances solubles

La pluie entraîne les substances solubles telles que CH_3Hg^+ ou Hg^{2+} vers les surfaces terrestres ou aquatiques.

- Solubilisation du mercure élémentaire gazeux

Le mercure sous forme élémentaire insoluble Hg^0 se transforme dans l'atmosphère par oxydation en phase aqueuse (dans la pluie ou les eaux nuageuses) en plusieurs entités mercurielles solubles.

Cette transformation est la suivante :



Cette oxydation du mercure par l'ozone pourrait également avoir lieu en phase gazeuse dans l'air (Pyankov, 1949).

Les composés solubles obtenus réintègrent par voie humide les surfaces terrestres et aquatiques.

b - Déposition sèche des particules insolubles de mercure élémentaire

Les particules représentent moins de 1 % du mercure atmosphérique total mais semblent participer au processus de précipitation par voie pluviale :

Le mercure élémentaire particulaire Hg^0 peut retourner directement dans les eaux de surface et sur les sols par déposition sèche.

c - Comparaison entre les deux modes de précipitation

- Comparaison des teneurs en mercure des eaux de pluie

En général, les eaux de pluie présentent des teneurs en mercure soluble compris entre 5 et 100 ng/l de pluie (IPCS, 1989), les concentrations de mercure dans l'atmosphère étant naturellement comprises entre 1 et 4 ng/m³ d'air.

Selon Fitzgerald, si la pluie est en équilibre avec une atmosphère contenant 2 ng/m³ d'air en mercure élémentaire Hg^0 , la concentration de mercure insoluble dans la pluie n'est que de 6,7 pg/l d'eau à 20°C.

Si on fait le rapport de ces teneurs en mercure des eaux de pluie, on constate que la déposition sèche véhicule moins de 1/1000ème des entités mercurielles transportées par déposition humide pour une concentration de mercure comparable dans l'atmosphère.

- Données bibliographiques

Fitzgerald a estimé la déposition sèche comparativement à la déposition humide sur les sols (en zone équatoriale) : elle représentait moins de 1 % de la déposition humide du mercure.

- Conclusions

Les formes gazeuses solubles (Hg^{2+} , $(CH_3)_2Hg$) sont les principales espèces mercurielles présentes dans les précipitations.

1.5.2 Retour du mercure dans l'atmosphère.

Dans les eaux de surface, les composés mercuriels solubles comme Hg^{2+} peuvent être transformés (par réduction ou déméthylation biologique) en espèces volatiles qui vont retourner à l'atmosphère : Hg^0 (99 %) et diméthylmercure,

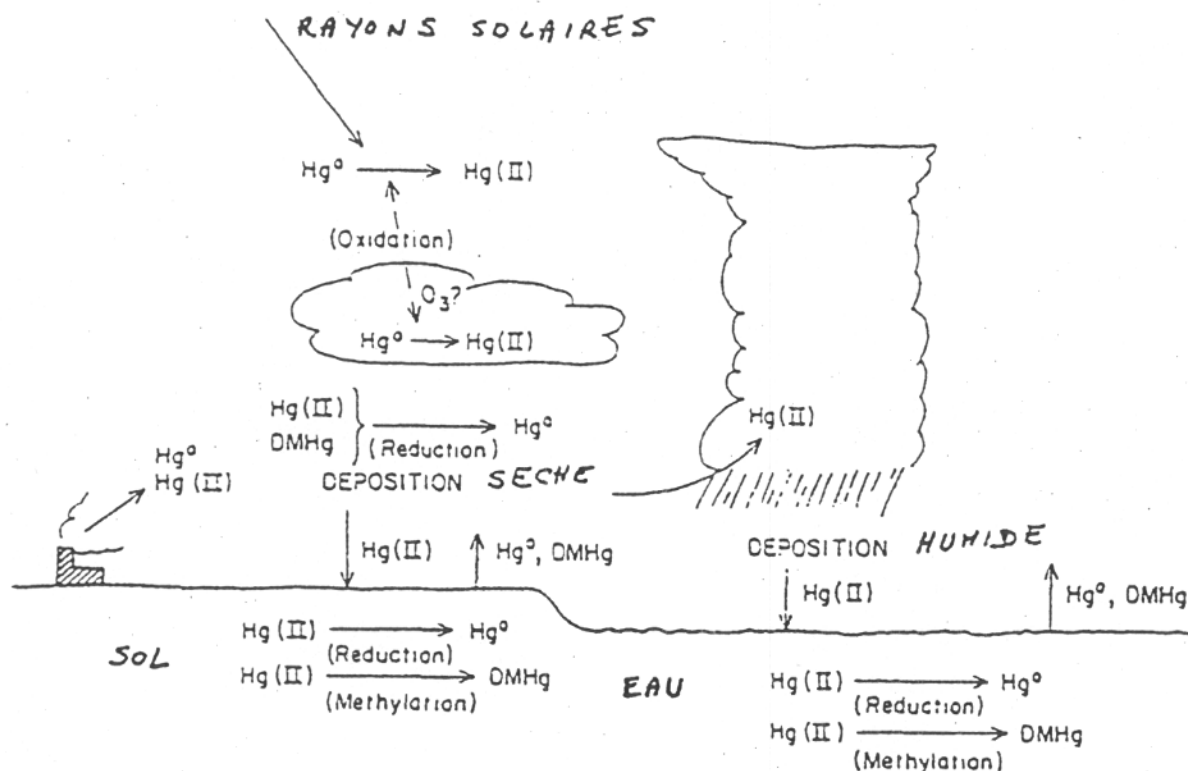
Wilken et Ebinghans (1988) ont montré lors d'une étude sur l'Elbe qu'une importante partie du mercure rejeté dans les rivières était volatilisée au cours de son transport vers la mer.

1.5.3 Blocage du mercure

Le cycle du mercure peut être interrompu de deux façons :

- Par blocage du mercure divalent Hg^{2+} dans les sols et les sédiments réducteurs, sous forme de sulfures (HgS).
- Par bioaccumulation dans les chaînes alimentaires du méthylmercure en particulier.

SCHEMA DU CYCLE DU MERCURE



Quelques idées simples à retenir :

Transferts Atmosphère ---> Eau, Sols : - déposition humide de $(\text{CH}_3)\text{Hg}^+$ et Hg^{2+} par les pluies à 99 %.

Transferts Eau, Sols ---> Atmosphère : - Volatilisation de Hg^0 , $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ (en moindre quantité).

Interruption du cycle :

- Sulfuration dans les sols et les sédiments
- Bioaccumulation dans les chaînes alimentaires.

DEUXIEME PARTIE : SOURCES DE POLLUTION DIFFUSES PAR LE MERCURE

2.1 POLLUTION ATMOSPHERIQUE

2.1.1 Sources de pollution atmosphérique par le mercure.

2.1.1.1 Introduction

Une des principales sources de contamination diffuse des eaux de surface est constituée par la déposition atmosphérique.

Les principales sources anthropiques d'émission de mercure dans l'atmosphère sont :

- La combustion des produits fossiles (charbon, fuel...)
- L'exploitation des minerais
- Les rejets industriels
- L'incinération des déchets

Pour les évaluations des rejets, on a fait appel à des facteurs d'émission calculés ou extraits de données bibliographiques.

2.1.1.2 Combustion du charbon

La combustion du charbon est une source d'autant plus importante de contamination par le mercure que le combustible contient initialement beaucoup de métal. Le facteur d'émission dépend de la situation géographique des minerais. La France importe les deux tiers de sa consommation de charbon. Le charbon brut est en provenance des Etats-Unis, d'Afrique du Sud, de Pologne et de la CEE.

Selon le CITEPA (1989), une tonne de charbon importée en France présente des teneurs moyennes en mercure atteignant 0,2 g/tonne. Le charbon produit sur le territoire français contient environ 0,1 g de mercure/tonne de charbon, ce qui représente sur le territoire français, pour l'ensemble des activités de combustion (chauffage domestique, électricité, industrie), une quantité totale de 4,0 tonnes de mercure rejetées dans l'atmosphère par an,

ceci considérant un taux d'émission de mercure pour ce type d'activité de l'ordre de 90 % et une consommation globale en combustibles minéraux solides de $27,8 \cdot 10^6$ tonnes en 1986.

total rejets atmosphériques combustion du charbon : 4,0 tonnes/an

2.1.1.3 Combustion d'autres combustibles fossiles

Toujours suivant les données du CITEPA (1989), la combustion de produits pétroliers, de l'ordre de $10,6 \cdot 10^6$ tonnes par an, occasionne l'émission d'une quantité de mercure de l'ordre de 1,5 tonnes par an sur la base d'une teneur mercurielle des fuels lourds compris entre 0,1 et 0,2 ppm.

L'IFE émet toutefois des réserves quand à la précision de ces données dans la mesure où l'impact des opérations de raffinages sur les pourcentages de mercure présents est mal connu.

Total rejets atmosphériques de la combustion de fossiles
(charbon exclut) : 1,5 tonnes/an

2.1.1.4 Exploitation de minerais

L'exploitation des mines de plomb et de zinc émettraient respectivement de l'ordre de 0,4 tonnes/an et 2 tonnes/an de mercure; ceci sur la base de l'émission de 3 g de mercure par tonne de plomb produit et de 8 g de mercure par tonne de zinc produit (NILU, 82).

Total des rejets atmosphériques de l'exploitation de
minerais : 2,4 tonnes/an

2.1.1.5 Pollution atmosphérique industrielle

Le Ministère de l'environnement a inventorié les principaux sites industriels à l'origine d'émissions atmosphériques de mercure. Les secteurs concernés en premier lieu sont les industries du chlore. Les 4 principaux sites totalisent des rejets atmosphériques de mercure d'environ 0,75 tonnes/an (Cartographie de la pollution, SEI, Ministère de l'environnement, 1990).

L'IFE (étude CITEPA, 1989) a par ailleurs estimé les émissions atmosphériques de mercure provenant de l'ensemble des activités industrielles françaises. Cette monographie fournit une valeur de 3,7 tonnes de mercure rejetées annuellement dans l'air.

L'incinération de déchets industriels est à l'origine de rejets mercuriels grossièrement estimés (selon ses propres termes) par Cossa en 1990 à environ 1,7 tonnes par an. Ce chiffre est à prendre avec beaucoup de réserve.

Total des rejets ponctuels atmosphériques industriels :
0,75 - 3,7 tonnes/an

2.1.1.6 Incinération d'ordures ménagères

a - Teneur en mercure des ordures ménagères

- Données bibliographiques

Plusieurs études relatives à la distribution de mercure dans les fumées d'incinération d'ordures ménagères sont arrivées aux résultats respectifs suivants.

- L'analyse des fumées atteignant le système de dépollution de l'incinérateur de Malmö en Suède, a donné une estimation du flux de mercure de 2 g/tonne de déchets domestiques incinérés (Bergström & Lundqvist, 1985).

- Lindqvist a réalisé une étude sur les flux de mercure dans l'environnement suédois et la contribution des incinérateurs d'ordures ménagères. Ses résultats relatifs aux rejets mercuriels atmosphériques sont compris entre 0,5 et 3 g/tonne de déchets incinérés (Lindqvist, 1986).

- En France, le CITEPA (1989) a évalué ce facteur d'émission de mercure comme étant compris entre 1,2 et 3,6 g/tonne d'ordures ménagères.

- Actualisation à partir des données O&E (cf chapitre "Origine du mercure dans les ordures ménagères")

Une estimation des flux de mercure émis dans l'atmosphère par l'incinération des ordures ménagères peut être réalisée en fonction des quantités de mercure consommées pour la fabrication des produits retrouvés dans les déchets domestiques.

- *Tonnage annuel d'ordures ménagères incinérées*

La France produit 35 millions de tonnes de déchets domestiques par an (AGHTM, 1990).

Les quantités d'ordures ménagères incinérées en France avoisinent $10,5 \cdot 10^6$ tonnes /an (AGHTM, 1990 sur la base de l'inventaire des unités de traitement d'ordures ménagères en France, installations classées au 31 décembre 1989).

- *Quantités de mercure provenant des ordures ménagères incinérées en France*

La présente étude fournit une estimation des tonnages de déchets mercuriels annuellement produits en France et allant dans les ordures ménagères. Ils totalisent entre 43,8 et 60,5 tonnes de mercure (Cf tableau récapitulatif page 35, chapitre 2.3). Les seules ordures ménagères incinérées représentent de 13,2 à 18,2 tonnes/an, ce qui correspond au taux national d'incinération de déchets domestiques, 30 % (correspondant à 41 % de la population faisant incinérer ses déchets).

- *Facteur d'émission de mercure total par les incinérateurs d'ordures ménagères*

En faisant le rapport du mercure contenu dans les ordures ménagères sur les tonnages d'ordures ménagères, on peut déduire la teneur des ordures ménagères en mercure : de 1,2 à 1,7 g/tonne de déchets.

- Comparaisons - Discussion.

Le facteur d'émission calculé par O&E (fourchette de 1,2 à 1,7) se situe au dessous de la plage déterminée par le CITEPA en 1989. Cette observation peut s'expliquer principalement par le fait que l'estimation du CITEPA est basée sur la connaissance des concentrations de mercure dans les gaz de combustion des incinérateurs d'ordures ménagères mesurées en Europe entre 1983 et 1986.

Les piles, traditionnellement à l'origine d'importantes quantités de mercure rejetées dans les ordures ménagères, contiennent des proportions beaucoup plus faibles de ce métal aujourd'hui qu'en 1986.

b - Devenir du mercure incinéré

- Données moyennes avant dépollution

D'après le CITEPA (1989), en l'absence de système de lavage, 70 à 90 % du mercure initialement présent dans les ordures ménagères se retrouve dans l'atmosphère.

L'AGHTM donne une valeur plus faible du mercure retrouvé dans les gaz de combustion : 64 % (cf tableau page suivante). On considèrera donc que les émissions de mercure dans l'atmosphère sont comprises entre 64 et 90 %.

DEVENIR DU MERCURE DANS LES INCINERATEURS

Sous-produits	Répartition massique en % de mercure entre les différents sous-produits de l'incinération	Teneur en mercure dans le sous-produit considéré
Mâchefers	25 %	3 mg/kg
Cendres volantes	11 %	23,5 mg/kg
Gaz de combustion	64 %	0,42 mg/Nm ³

Source : AGHTM, texte des conférences du 70ème congrès, 1990

- Performances des systèmes de dépollution existant

En France, à notre connaissance, une seule UIOM est réellement équipée pour le captage du mercure : celle de Saint-Ouen (TIRU) dont le taux de dépollution mercurielle est de 70 %.

A l'exception de cette installation, le taux de dépollution mercurielle des incinérateurs d'ordures ménagères en France varie entre 10 et 30 %.

- Hypothèses prises en compte dans les chiffrages

- Les quantités de mercure incinérées sont comprises entre 13,2 et 18,2 tonnes/an.

- Les taux d'émissions à l'atmosphère sans traitement sont comprises entre 64 et 90 %.

- 4 % des ordures ménagères incinérées le sont avec un taux de dépollution de 70 % (Saint Ouen); le taux de dépollution mercurielle sur l'ensemble des UIOM en France est compris entre 12 et 37 %.

- Les émissions de mercure correspondantes dans l'atmosphère des UIOM sont comprises entre 63 et 88 % du mercure initial contenu dans les ordures ménagères. Les rejets atmosphériques de mercure correspondant peuvent être évalués : de 8,2 à 16 tonnes/an.

- 12 à 37 % du mercure initialement contenu dans les ordures ménagères part dans les déchets (mâchefers, mercure récupéré après traitement des eaux de lavage des fumées) : de 1,6 à 6,7 tonnes par an.

c - Chiffres retenus

Facteur d'émission de mercure pour l'incinération de déchets domestiques :
1,2 à 1,7 g/tonne

Total rejets atmosphériques des UIOM en France : 8,2 à 16 tonnes/an

Total rejets des UIOM dans les déchets en France : 1,6 à 6,7 tonnes /an

2.1.1.7 Incinération des déchets hospitaliers

Les déchets hospitaliers incinérés sont de 4 ordres : dialyse, bactériologie, centre de transfusion sanguine, autres.

Le facteur d'émission a été évalué comme étant compris entre 1 et 5 g de mercure par tonne de déchets brûlés (CITEPA, 1989).

Il existe 12 unités d'incinération des déchets hospitaliers en France. Six d'entre elles totalisent 27 530 tonnes de déchets incinérés par an (ANRED, 1990). Cette valeur, bien que partiellement représentative de ce type de déchets, est à comparer au tonnage annuel de déchets domestiques incinérés : 14,5 millions de tonnes/an; On peut penser que le flux de mercure de source hospitalière est très minoritaire comparativement aux émissions de mercure des incinérateurs d'ordures ménagères.

2.1.1.8 Crématoires

Pour les lecteurs qui se poseront la question de la contribution de la crémation à la pollution atmosphérique, l'évaluation suivante a été réalisée :

les crématoires constituent une petite source d'émission atmosphérique de mercure qui peut être estimée sur la base d'une moyenne de 3 g de mercure d'amalgame dentaire par personne. Elle représente au total de l'ordre de quelques dizaines de kilogrammes sur le territoire.

2.1.2. Type d'espèces mercurielles rejetées dans l'atmosphère en fonction de la source

Taux d'émission pour les différents composés du mercure par rapport aux émissions totales de mercure données dans la base de données en amont du modèle d'émissions en Europe.

type de source	mercure gazeux (Hg ⁰)	mercure gazeux (Hg ²⁺)	particules
Combustion des industries, des communes, et des particuliers Centrales électriques	75 %	20 %	5 %
Production primaire de zinc et de plomb	90 %	10 %	-
Production de chlore	45 %	45 %	10 %
Incinération d'ordures ménagères	20 %	75 %	5 %

Source : DORNIER/NILU, Umweltbundesamt, 1990 (données de 1982)

2.1.3 Flux total de mercure dans l'atmosphère

EMISSIONS TOTALES DE MERCURE ATMOSPHERIQUE

SECTEUR	Rejets dans l'atmosphère (tonne/an)
Combustion du charbon	4
Pétrole, fuel	1,5
Minerais de plomb	0,4
Minerais de zinc	2
Pollution atmosphérique industrielle	3,7 (chiffre CITEPA, 1985)
Incinération d'ordures ménagères	8,2 - 16
TOTAL	19,8 - 27,6

Il est à noter que les rejets atmosphériques d'origine anthropique sur la France ont été estimés par le modèle de NILU/DORNIER à 16,7 tonnes/an en 1982, et à 29,87 tonnes/an réparties sur 59 sources en 1987.

2.2 POLLUTION DIFFUSE AQUATIQUE DIRECTE

Les sources de rejets diffus directs dans les eaux sont principalement le fait de la dentisterie et des lixiviats de décharges et pouvaient aussi être associées à l'agriculture jusqu'en 1979.

Certaines utilisations de composés mercuriels sont désormais limitées, voire interdites.

L'utilisation de fongicides à base de mercure par exemple a été mise en question en 1979.

En 1989, toute dérogation à la directive européenne 79/117, prohibant l'utilisation d'anti-parasitaires mercuriels sur le territoire français a été supprimée.

L'agriculture n'est donc plus une source de pollution par le mercure. Toutefois, de par ses propriétés de bioaccumulation, le mercure auparavant consommé est présent dans les particules sédimentaires et dans les sols. Les quantités de composés mercuriels accumulés au cours des années précédentes dans les sols par les secteurs agricoles peuvent être importantes mais ne sont pas prises en compte dans cette étude dans la mesure où aucune action préventive n'est plus à être engagée.

Par ailleurs, la circulaire du 5 janvier 1976 relative aux papeteries interdit tout usage de biocides mercuriels et la réglementation communautaire interdit l'usage de produits mercuriels pour le traitement du bois.

2.2.1 La dentisterie

Les chirurgiens-dentistes utilisent des quantités de mercure qui sont de l'ordre de 400 mg par cabinet dentaire (unité de travail) et par an. Sur la France, en 1991, 40 871 praticiens sont inscrits au registre du CNSD, confédération qui regroupe l'ensemble des syndicats professionnels de l'art dentaire.

Il a donc été possible d'évaluer les quantités de mercure consommées pour les amalgames dentaires au moyen de cartes de répartition géographique des praticiens de l'art dentaire (carte fournie par le CNSD).

Un rapport de l'Office fédéral de la protection de l'environnement suisse en date de novembre 1988 expose les résultats de la quantification des résidus mercuriels rejetés dans les eaux

usées des cabinets dentaires par unité de travail. Les suisses estiment que 60 % des résidus d'amalgames dentaires finissent mêlés aux déchets et 40 % aux eaux usées. On peut donc en déduire une estimation des quantités de mercure rejetées dans le milieu aquatique et dispersées dans l'atmosphère par incinération. Ces amalgames sont constitués à 50 % de mercure.

Sur la France, les rejets aquatiques du mercure contenu dans les amalgames dentaires peuvent donc être estimés à environ 6 tonnes annuelles.

Total rejets dans les eaux de la dentisterie : 6 tonnes/an
--

2.2.2 Laboratoires

a - Estimation des consommations

Les chiffres fournis par l'OCDE sur l'utilisation du mercure en laboratoire attribue à ce secteur une contribution de 1,7 % sur 6 pays de l'OCDE (Scandinavie, Pays-Bas, USA) et de 1,5 % sur les USA relativement à la consommation totale de mercure.

En France, en reprenant ce pourcentage associé à la consommation nationale annuelle de 90 tonnes, ce secteur représenterait de 1,3 à 1,5 tonnes/an de mercure consommé.

b - Importance des rejets de mercure occasionnés par les tests de DCO

Les tests de demande chimique en oxygène (DCO) nécessitent l'utilisation de mercure afin de réduire les interférences et ainsi augmenter la précision des résultats. L'industrie, les laboratoires commerciaux, les autorités municipales responsables du traitement des eaux font largement appel à ce test et occasionnent ainsi des rejets mercuriels non négligeables. Sur un échantillon de 20 ml, 0,27 g de mercure sont consommés. Chacun de ces tests produit 170 ml de solution mercurée.

Par exemple, le laboratoire de contrôle des eaux de Paris fait procéder à l'enlèvement de 3 à 4 bonbonnes de 100 l de solution provenant uniquement de tests de DCO ce qui donne une estimation du nombre de tests réalisés par an par ce laboratoire et donc une plage de quantité de mercure consommée comprise entre 400 et 600 g de métal.

Une évaluation du nombre de tests DCO effectués sur le territoire peut être faite en considérant les laboratoires agréés pour les contrôles de qualité des eaux et en prenant une moyenne de tests DCO réalisés par an et par laboratoire.

L'arrêté du 25 Juillet 1990 portant agrément des laboratoires en 1991-1992 et agrément provisoire des laboratoires en 1991 pour exécuter certains types d'analyses des eaux fait mention de 224 laboratoires sur la France.

En considérant une plage comprise entre 100 (moyenne retenue par une étude étrangère) et 600 g de mercure consommé par laboratoire, on obtient une consommation totale de mercure destiné aux seuls tests de DCO comprise entre 25 kg et 150 kg par an.

Ces valeurs représentent une estimation grossière des rejets pouvant être retrouvés dans les eaux. En effet, les valeurs réelles de rejets dépendent de l'application des laboratoires français à récupérer les eaux mercurées et à les faire traiter.

Estimation rejets de mercure dans les eaux par les laboratoires : 1,3 à 1,5 tonnes/an.

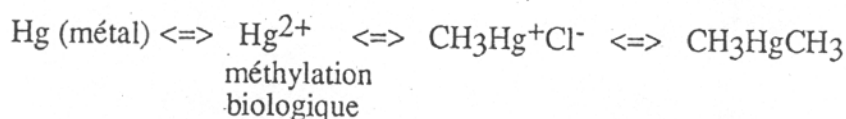
2.2.3 Lixiviation dans les décharges (pollution des eaux souterraines)

Plusieurs expériences ont été menées afin de connaître le devenir du mercure dans les décharges.

Le mercure est utilisé sous forme de chlorure mercurieux dans les piles haute puissance dans lesquelles le sel s'amalgame avec la boîte en zinc, et dans les piles ordinaires zinc-carbone dans le diaphragme de papier ou la carte.

Il est possible de trouver le mercure provenant de la mise en décharge de piles sous deux formes :

- revêtement de chlorure mercurique sur papier marron
- chlorure mercurique mélangé avec une pâte d'oxyde de manganèse dans les piles zinc-carbone.



Les quantités de mercure qui peuvent fuir par voie aquatique sont peu importantes car le mercure est précipité par les sulfures.

La solubilité du sulfure de mercure est extrêmement faible et il est probable qu'une fois le composé formé, son transport sera lent.

Les ordures ménagères contiennent des sulfates qui, une fois réduits en sulfures, vont fixer le mercure. Le mercure contenu dans les déchets domestiques ne semble pas représenter de risque pour les nappes phréatiques (cf paragraphe 2.3 sur les ordures ménagères).

2.2.4 Devenir du mercure rejeté dans le milieu aquatique.

Sur la base des résultats précédents, les quantités de mercure directement rejetées dans le milieu aquatique sont de 7,3 à 7,5 tonnes/an.

En France, le pourcentage de raccordement aux réseaux d'assainissement est de l'ordre de 80 %. Les habitations situées sur des sites à basses densités de population ne sont pas raccordées. On peut penser que la majorité des dentistes habite en ville et que les crachoirs sont le plus souvent raccordés aux réseaux d'assainissement.

Au moins 5,9 tonnes de mercure de dentisterie atteint les stations d'épuration urbaines.

Par ailleurs, les teneurs en mercure des boues sèches de stations d'épuration urbaines sont en moyenne comprises entre 2 et 8 g/tonnes de boues. La totalité de ces boues représente 600 000 tonnes de matières sèches par an en France. Il est ainsi récupéré de 1,2 à 4,8 tonnes/an de mercure dans les boues de station d'épuration.

Cette valeur est plus faible que la précédente (>5,9 tonnes/an) ce qui peut s'expliquer par les difficultés de captage du mercure dans les stations d'épuration urbaines.

2.2.4 Récapitulatif sur les rejets dans les eaux de surface.

SECTEUR	REJETS AQUATIQUES (tonnes/an)
Laboratoires	1,3 - 1,5 tonnes /an
Dentisterie (crachoirs)	6 tonnes/an

2.3. RECHERCHE DES PRODUITS CONTENANT DU MERCURE ET SUSCEPTIBLES DE FINIR DANS LES ORDURES MENAGERES

2.3.1 Piles et accumulateurs

Le premier type d'utilisation, en quantité, concerne les piles. Selon les données de l'ex Agence pour la Qualité de l'Air (T.S.M. l'eau, 1989), elles représentaient, en 1985, 80 % du mercure contenu dans les ordures ménagères, c'est à dire environ 54 tonnes annuelles. Ces quantités ont diminué de façon importante en particulier grâce aux récentes réglementations.

Les piles jouent un rôle important dans la pollution diffuse mercurielle du fait de leur incinération et de l'absence de collecte systématique des piles présentant des teneurs importantes en métal.

Afin de quantifier de façon réaliste les quantités de mercure contenues dans l'ensemble des piles, il est commode de les classer suivant les différentes catégories proposées dans la directive du 18 Mars 1991 qui limite les teneurs en mercure des piles à partir du 01/01/93.

- Piles standard alcalines : teneur en mercure ne doit pas dépasser 0,025 %
- Piles salines : ne doivent pas contenir plus 25 mg du métal.
- les piles boutons à oxyde de mercure : ne sont pas incluses dans le champ d'application de cette directive.

Cette classification peut être reprise dans un but de chiffrage dans la mesure où la directive doit être retranscrite en droit français en septembre 1992 au plus tard et où les producteurs, toujours moins nombreux sur le marché européen, ont déjà oeuvré dans le sens d'une réduction de l'utilisation du mercure comme additif et affichent aujourd'hui les résultats de recherches entreprises depuis plusieurs années pour remplacer ce métal.

La France consomme 550.10⁶ piles/an, importées à 90 % et réparties comme suit.

REPARTITION DES DIFFERENTES PILES SUR LE MARCHE FRANCAIS

piles	quantité de mercure par unité	% du marché (nb.d'unités vendues)	nb.d'un ités consommées /an	quantité de mercure associée
piles boutons à oxyde de mercure	30 %	1,3	7,15 millions	7,15 tonnes
piles alcalines	< 0,025 %	54	297 millions	3 tonnes en 92
piles salines	< 0,025 mg	40	220 millions	5,5 kg en 92
piles bouton zinc-air	0,5 à 1 %	0,7	3,85 millions	négligeable
piles au lithium	0 %	0,5	2,75 millions	0

Source : EUROPILE (Syndicat européen des fabricants de piles), 1991

2.3.1.1 Les piles boutons à oxyde de mercure.

Premier producteur : UCAR (groupe RALSTON)

Utilisation : piles auditives, photo, calculatrices de poches, électronique miniaturisée.

En 1984, les piles boutons représentaient 7 % du marché global des piles. Aujourd'hui, selon EUROPILE, elles ne représentent que 1,3 % des piles consommées en France.

Composition : 60 % Argent, 10 % Lithium, 30 % Mercure. C'est à dire environ 1 g de mercure par pile.

Les français consomment approximativement 7,2 tonnes de piles-boutons par an. Il est très difficile de trouver un substitut à ces piles car leurs performances de régularité semblent aujourd'hui encore inégalées (en particulier dans le domaine médical). Par ailleurs, le mercure dans ce cas n'est pas un additif mais bien un agent réactif.

2.3.1.2 Les piles standard alcalines.

Principaux producteurs : DURACELL (47 % du marché des alcalines, ne produit pas de piles salines), VARTA, WONDER-MAZDA (groupe RALSTON), PHILIPS, KODAK.

Utilisation : matériel hi-fi, éclairage, radio-réveils...

A ce jour, les piles alcalines représentent 54 % du marché français en volume.

Leur taux de croissance fût de 10 % en 1988.

Composition : zinc, nickel et mercure (environ 0,7 %). L'électrolyte est basique. Le rôle du mercure est l'inhibition de la corrosion du zinc.

Les piles alcalines au manganèse ne devront pas compter plus de 0,025 % en poids de mercure par pile en septembre 1992. Il est difficile d'évaluer les quantités de mercure restant en jeu pour ce type de piles et on pourra se reporter au document rédigé par EUROPILE, qui prévoit en

1992 pour l'ensemble des piles (hormis piles à oxyde de mercure) des quantités totales de mercure résiduelles ne dépassant pas 3 tonnes sur le territoire français.

Il est à noter que les producteurs de piles alcalines nous ont fourni les chiffres de prévision pour fin 1992, en accord avec la réglementation, mais que la teneur en mercure des piles alcalines actuellement sur le marché est encore de l'ordre de 0,1 %. Les quantités totales de métal contenues dans l'ensemble des piles alcalines mises sur le marché sont aujourd'hui de 10 à 15 tonnes annuelles.

2.3.1.3 Piles salines.

Principaux producteurs : MAZDA-WONDER ("green power"), VARTA, PHILIPS, KODAK.

Utilisations : les mêmes que les piles alcalines, leur durée de vie étant environ trois fois moins longue.

Composition : les agents actifs sont les mêmes que dans les piles alcalines; le mercure est en moindre quantité; certaines piles salines ne contiennent plus de mercure du tout.

Selon la précitée directive, les piles salines ne comporteront pas plus de 0,025 mg de mercure par unité. A cette valeur seuil, les piles salines représenteraient 220 millions d'unités à 0,025 mg Hg/pile, c'est à dire globalement 5,5 Kg de mercure sur l'ensemble du territoire par an, ce qui est négligeable.

2.3.1.4 Piles zinc-air.

Les piles boutons zinc-air contiennent de l'ordre de 0,5 à 1 % de mercure en poids et ne sont pas concernées par la directive. En raison de leur faible masse, elles n'apportent pas de contribution importante aux apports de mercure dans l'environnement

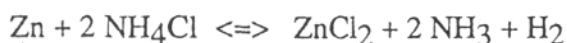
2.3.1.5 Piles au lithium.

Les piles au lithium ne contiennent pas de mercure.

Composition des piles alcalines et salines

Une cellule est composée d'une boîte en zinc contenant un bâton de graphite entouré d'une pâte de dioxyde de manganèse, de chlorure de zinc, de chlorure d'ammonium et de noir de pétrole. Afin de ralentir la réaction, un papier laminé avec du chlorure mercurieux est inséré entre la boîte de zinc et le mélange cathodique.

Tout le papier laminé au mercure arrivant dans les décharges est soudé dans la cellule primaire : la plupart des cellules arrivent intactes.



La pile contient une solution de $2 \cdot 10^{-4}$ g de Hg_2Cl_2 par 100 g de H_2O à 25°C.

HgNH_2 comporte le mercure sous forme Hg^{2+} . le chlorure aminobasique est peu soluble dans l'eau. (0,14 g/100 g d' H_2O à 25 °C).

la seconde réaction est déplacée vers la gauche car Hg_2Cl_2 est plus stable.

2.3.2 Eclairage

Les différentes sortes de lampes présentent des teneurs variables en mercure. L'évolution du marché se fait vers une diminution des quantités de mercure consommées et par une utilisation plus large des lampes à sodium. L'industrie de l'éclairage a fourni les informations suivantes.

Utilisés dans les bureaux, les tubes fluorescents représentent 20 millions d'unités consommées en France par an et sont responsables d'un apport annuel d'environ 0,4 tonne de mercure dans les déchets. En moyenne sur l'Europe chaque tube fluorescent contient de l'ordre de 20 mg de mercure. 50 % des tubes vendus en France n'en contiennent que 10 mg.

Les lampes à mercure sont utilisées pour l'éclairage public (extérieurs) et dans l'industrie. Les chiffres du syndicat de l'industrie de l'éclairage attribuent à ce type de lampes une quantité d'environ 20 mg de mercure par unité. Le représentant d'une importante société productrice l'estime plutôt à 40 mg par unité.

Au total sur le territoire, 1,5 millions de lampes à mercure sont annuellement vendues, ce qui représente 60 kg de mercure.

Les lampes iodures, responsables de l'éclairage des stades et des industries produisent une belle lumière blanche et n'ont pas de substitut à ce jour. Quarante mille unités sont consommées annuellement. Elles contiennent 45 mg de mercure par unité, et totalisent donc une quantité globale de mercure d'environ 2 kg par an.

Les lampes sodium haute et basse pression contiennent un amalgame de mercure et de sodium. Environ 0,9 mg de mercure sont employés dans chacune de ces lampes qui représentent au total 450 g de mercure pour 500 000 unités. Dans ces lampes, le mercure ne constitue pas l'agent actif et se trouve de ce fait susceptible d'être substitué.

Le mercure contenu dans les lampes et les tubes est sous forme élémentaire.

Des études menées dans d'autres pays européens ont mentionné des quantités de mercure contenues dans les lampes globalement supérieures aux valeurs ci-dessus mentionnées (pour les lampes à iode utilisées dans les laboratoires photographiques en particulier, auxquelles sont attribuées une teneur d'environ 100 mg de mercure par lampe).

Il est possible que ces dernières valeurs soient surévaluées en 1991 dans le sens où plusieurs pays européens ont déjà pris des mesures en faveur de la réduction des apports mercuriels issus de ce secteur industriel, dont certaines très contraignantes. L'industrie de l'éclairage est implantée en Europe sur la base d'un système de production organisé à l'échelle européenne. Aussi, les astreintes réglementaires d'origine autrichienne, allemande ou néerlandaise sont de puissants moteurs de l'évolution des compositions des lampes vers une diminution incontestable des teneurs en métaux lourds tels que le mercure ou le cadmium au niveau français.

En 1991, au total, 22 millions de lampes contenant du mercure sont consommées dans l'année et représentent 0,462 tonnes de métal par an, les tubes fluorescents étant les premiers en cause.

2.3.3 Appareils de mesure

2.3.3.1 Thermomètres

On évalue à 30 % les thermomètres médicaux utilisés par les particuliers et 70 % les thermomètres utilisés en hôpital. Près de 1 % des thermomètres produits sont mis au rebut pour défaut de fabrication (appareils cassés, précision insuffisante...).

Chaque thermomètre contient 2 g de mercure. La durée de vie moyenne d'un thermomètre d'hôpital est estimée à 32 jours. Il y a 558 693 lits d'hôpitaux en France (1989, service statistique du ministère de la santé), 363 115 lits du secteur public et 195 578 du secteur privé. Onze thermomètres sont "consommés" par lit et par an, c'est à dire 6,15 millions de thermomètres sur

l'ensemble du territoire français. On peut donc estimer à 12,3 tonnes la consommation de mercure associée à l'utilisation de thermomètres en milieu hospitalier.

Si on rapporte cette valeur aux 70 % représentatifs du secteur non privé, le secteur médical en France consommerait 17,5 tonnes de mercure par an pour les thermomètres si tous étaient métalliques.

Il est difficile d'évaluer la proportion de thermomètres électroniques utilisés en France par rapport aux thermomètres métalliques. Il est seulement possible de dire que les thermomètres "d'ambiance" sont en majorité à alcool et que le principal consommateur de thermomètres est le secteur médical.

La tendance ressentie par les spécialistes du traitement du mercure semble s'orienter vers un accroissement du nombre de thermomètres médicaux à mercure par rapport aux thermomètres électroniques. Ces derniers sont plus chers et seraient moins fiables.

Cette tendance s'est confirmée par une petite enquête réalisée de façon informelle auprès d'une dizaine d'hôpitaux : il sera difficile d'amener le secteur médical à abandonner les thermomètres à mercure qui leur donnent entière satisfaction.

En reprenant les conclusions d'une étude canadienne, à savoir que 90 % des thermomètres sont finalement brisés, 15,7 tonnes de mercure sont au maximum placées en décharge ou incinérées.

L'IFE a estimé en 1989 à 0,9 tonnes le flux atmosphérique annuel de mercure issu de l'incinération de thermomètres usagés en France (sur la base d'une émission atmosphérique de 10 % du mercure contenu dans la totalité des thermomètres) et à environ 1 tonne les émissions mercurielles atmosphériques pour l'ensemble du secteur de l'instrumentation.

2.3.3.2 Autres instruments de mesure

Les instruments de mesure susceptibles de contenir des quantités variables de mercure sont rappelés dans le tableau suivant.

UTILISATION DE DIFFERENTS APPAREILS CONTENANT DU MERCURE

Instrument	Usage
Baromètre	Mesure de la pression atmosphérique
Manomètre	Mesure de la pression
Compteur	Numération des hématies
Coulter	
Polarographe	Analyse électronique
Pompe à vide à diffusion	Dispositif fonctionnant sous vide
Autres instruments	Météorologie, Océanographie, etc...

Source : Les émissions de mercure dans l'atmosphère en France, IFE, 1989

Peu d'informations sont disponibles sur ce type de produits en raison de leur diversité. Leurs destinations finales sont :

- Reprise par les spécialistes (DUCLOS...) avec récupération du mercure.

- Incinération avec les ordures ménagères, ou avec les déchets industriels.
- Mise en décharge (d'ordures ménagères et de déchets industriels).

D'après le rapport de l'OCDE (1991), les instruments de mesure représentent de 6,7 à 7,2% de la consommation totale de mercure sur 6 pays (dont les USA).

En France, le mercure contenu par l'ensemble de ce type d'instruments pourrait donc être très grossièrement évalué de l'ordre de 5 à 10 tonnes par an.

2.3.4 Relais, contacteurs et divers petits composants.

a - Relais

Chaque relais électrique à base de mercure contient en moyenne 1 g en métal.

La tendance semble s'orienter vers une diminution de la consommation de ce type de relais : le principal constructeur français, assurant 50 % de la production nationale, ne produit plus à ce jour de relais à base de mercure.

b - Contacteurs

D'après l'OCDE, le mercure contenu dans les contacteurs représentait en :

1982/83 au Danemark	1,6 % de la consommation totale de mercure
1984 aux Pays-Bas	3,4 % de la consommation totale de mercure
1989 aux USA	11,6 % de la consommation totale de mercure

Le marché français est comparable au marché européen. la consommation de mercure destiné aux contacteurs pourrait représenter 1,5 à 3 % du mercure total, c'est à dire 1,3 à 3 tonnes par an.

Par exemple, certains systèmes d'éclairage de coffre placés sur les automobiles peuvent contenir du mercure. Le système (basculé doté d'une petite bille de mercure) est encore installé sur quelques véhicules (environ 300 voitures dotées de ce système sont mise sur le marché par jour).

c - Autres

Le système de freinage ABS est aussi composé de petites quantités de mercure.

Les relais et contacteurs sont utilisés de multiples façons dans l'industrie qui semble se préoccuper du problème en envoyant les relais usagés aux spécialistes du traitement des déchets mercuriels.

Il n'y a pas d'informations plus précises concernant ce secteur.

2.3.5 Produits pharmaceutiques

Certains produits pharmaceutiques contiennent du mercure, par exemple le mercurochrome, les produits de nettoyage de lentilles de contact, etc...

Massard a estimé à 5 % de la production mondiale de mercure, la proportion associée au milieu pharmaceutique.

Cossa (1974), donne un pourcentage de 4 %. La consommation française étant de 90 tonnes de mercure par an, la contribution du secteur pharmaceutique serait de l'ordre de 4,5 tonnes. Ce chiffre est toutefois à prendre avec beaucoup de réserve compte tenu de la date de sa parution (1974).

En 1989, le mercure ne semble plus être utilisé pour la production de produits chimiques aux USA, qui en consommait 59 tonnes/an en 1959 à ce seul usage (OCDE, 1991).

On peut penser que cette tendance soit générale sur l'ensemble des pays développés.

2.3.6 Les amalgames dentaires

2.3.6.1 Composition des rejets d'amalgames des cabinets dentaires

Ces amalgames, couramment appelés "plombages", sont constitués à 50 % de mercure. Outre les rejets par les crachoirs dans les effluents, les amalgames peuvent se retrouver dans les déchets domestiques.

Les déchets d'amalgames peuvent être répartis en quatre catégories :

- Déchets de malaxage, fragments
- Dents extraites contenant de l'amalgame
- Utilitaires souillés (ustensiles jetables, cotons ...)
- Pièces souillées de l'appareillage obsolète du cabinet dentaire (lors de son changement)

Les déchets mercuriels du secteur de la dentisterie ont été évalués par l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage suisse. Ils sont rejetés à 60 % dans les déchets, et à 40 % dans les eaux usées (Bundesamt für Umweltschutz, Suisse, 1988). L'ensemble des cabinets dentaires génère ainsi environ 10 tonnes de mercure contenu dans les déchets et 6 tonnes de mercure rejetées dans les effluents (ch chapitre 2.2.1).

2.3.6.2 Devenir des rebuts d'amalgames

En l'absence de collecte, ces déchets mercuriels (excédents d'amalgames et utilitaires souillés) sont, soit incinérés sans distinction d'avec les ordures ménagères, soit placés en décharge. Dans le cas de l'incinération, ils sont à l'origine d'émissions de mercure dans l'atmosphère.

Le cours du mercure et de l'argent ne justifiant plus la revente après traitement, les déchets d'amalgames dentaires ne sont presque plus traités (ce qui était pourtant souvent le cas il y a quelques années).

QUANTITES TOTALES DE MERCURE REJETEES PAR LES CABINETS DENTAIREs

Type de rejets d'amalgames	Quantités annuelles
excédents d'amalgames, souillures d'utilitaires	10 tonnes
Rejets aquatiques par le crachoir	6 tonnes

RECAPITULATIF SUR LES UTILISATIONS DU MERCURE

SECTEUR	MERCURE CONSOMME PAR AN
thermomètres	10-15 t. (2 g Hg par thermo.)
autres instruments de mesure	5 -10 t
éclairage	0,5 t.
dentisterie	16 t.
relais électriques et contacteurs	1,3 - 3 t
laboratoires	1,3 - 1,5 t
piles boutons	7 tonnes
piles alcalines	3 tonnes (fin 1992) (10 -15 tonnes,1991)
piles salines	5,5 kg (fin 1992)
TOTAL	44,1 - 56 tonnes

TROISIEME PARTIE : REPARTITION GEOGRAPHIQUE

La première industrie en cause pour la pollution atmosphérique est le secteur de l'incinération d'ordures ménagères.

En France, une des principales sources naturelles de mercure dans l'atmosphère est constituée par le dégazage du mercure minéral de l'océan Atlantique et de la mer Méditerranée, cette dernière atteignant des teneurs plus importantes.

3.1 GENERALITES SUR CHACUN DES BASSINS

3.1.1 Rhin-Meuse

Le Rhin ayant fait l'objet de nombreuses études, un descriptif plus précis de l'état de son bassin a pu être établi. Les évaluations des délégations nationales à la Commission du Rhin (CIPR) pour 1985 indiquent qu'une quantité totale de 3,8 tonnes de mercure est rejetée annuellement dans le Rhin par l'ensemble des pays riverains.

La France, qui compte 15 % du bassin total du fleuve, était responsable d'environ 9 % des apports de mercure au Rhin, c'est à dire 328 kg de métal en 1985 qui pouvaient être répartis de la façon suivante.

- Apports diffus au Rhin d'origine française : 100 kg/an
- Rejets industriels : 70 kg/an
- Rejets communaux : 160 kg/an

Sur ces chiffres, 28 % des apports étaient donc classés comme diffus.

Cet inventaire de la CIPR a été réalisé à partir de mesures ou d'estimation des principaux rejets pour chacun des pays concernés. Les rejets diffus comptabilisent les apports atmosphériques et les pollutions résultant de l'utilisation de mercure dans les industries (en dehors des processus de production), de l'artisanat, des ménages.

3.1.2 Rhône-Méditerranée-Corse.

Des quantités importantes de mercure sont naturellement rencontrées dans le golfe de Fos.

Le Rhône présente des teneurs élevées en mercure pour plusieurs raisons.

D'une part, la vallée du Rhône est dotée de nombreuses industries polluantes, en particulier de producteurs de chlore. Les eaux sont ainsi contaminées de façon ponctuelle par les rejets aquatiques et par l'atmosphère de façon plus diffuse.

D'autre part, il est situé dans une zone riche en minerais cinabriques. Les régions méditerranéennes incluses dans la ceinture mercurifère européenne présentent des teneurs largement supérieures à la moyenne de par la nature des sols.

Les minerais de cinabre situés dans le Sud ne sont pas exploités, mais la forte urbanisation a contribué à accentuer la pollution mercurielle du Rhône en particulier, fleuve déjà lourdement atteint par les industries environnantes.

Les conclusions de Cossa sur le delta du Rhône tendent à montrer que les teneurs en mercure dissous rencontrées dans les eaux sont comparables aux teneurs des eaux non contaminées. Par contre, la même publication dénonce des valeurs de concentration élevées en mercure particulaire dans le Rhône et son delta, potentiellement sources de contamination (Cossa, 1991).

3.1.3 Seine-Normandie

Sur ce bassin, les traitements thermiques des ordures ménagères sont nettement plus employés que dans le reste de la France. Les nombreuses unités d'incinération parisiennes sont responsables de grandes quantités de mercure émis dans l'atmosphère.

On retrouve ces observations sur les cartes générées par le modèle NILU/DORNIER. Les incinérateurs d'ordures ménagères rejettent 75% du mercure sous forme divalente (Hg^{2+}). Le point de la carte représentatif de Paris présente des taux d'émission importants en mercure divalent.

Par ailleurs, une aussi importante concentration de population représente beaucoup de cabinets dentaires et donc de rejets aquatiques diffus directs (cf 2.2.1).

Les roches paléozoïques présentes dans les environs de Saint-Lô (50) renferment du cinabre. Les alentours de Fécamp (76) sont également naturellement contaminés.

3.1.4 Artois-Picardie

Le Nord est également doté d'un représentant important de l'industrie du chlore et de plusieurs unités d'incinération assez importantes.

3.1.5 Loire-Bretagne

Des régions littorales sur l'Atlantique, le bassin de Marennes-Oléron présentent naturellement des teneurs élevées en mercure.

Il y a peu d'industries rejetant du mercure dans l'environnement sur ce bassin.

3.1.6 Adour-Garonne

Ce bassin ne semble pas souffrir des émissions industrielles atmosphériques, en dehors des phénomènes de déposition de mercure volatil provenant d'autres bassins.

Toutefois, des quantités importantes de mercure présent naturellement ont pu être mesurés au fond du golfe de Gascogne près de la frontière franco-espagnole.

3.2 REJETS ATMOSPHERIQUES

- Remarque préliminaire

En toute rigueur, les rejets atmosphériques ne peuvent pas être directement reliés à un bassin versant, puisque les pollutions sont transférées suivant les phénomènes météorologiques.

Toutefois, si le mercure élémentaire a une durée de vie dans l'atmosphère compris entre deux mois et deux ans et se trouve à même d'effectuer des distances de centaines de km, les formes solubles du mercure (Hg^{2+}) ont un temps de résidence de quelques semaines dans l'atmosphère et se redéposent rapidement.

La plus grande partie du mercure émis dans l'atmosphère retombe ainsi dans un périmètre de 10 à 50 km de son point d'émission, 10 % étant déposé localement. Au delà de cette distance de la source, les teneurs en mercure sont normales.

On peut considérer en première approximation que la plus grande partie des émissions d'un bassin versant retombera sur ce même bassin.

- Secteurs d'activités concernés

Dans les tableaux ci-dessous, seules les principales sources de rejets atmosphériques de mercure ont été considérées, à savoir les incinérateurs d'ordures ménagères.

Il y a 309 unités de traitement thermique (incinération, pyrolyse...) en France.

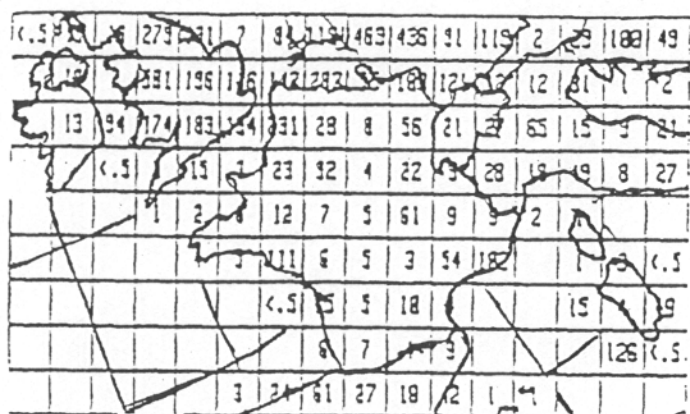
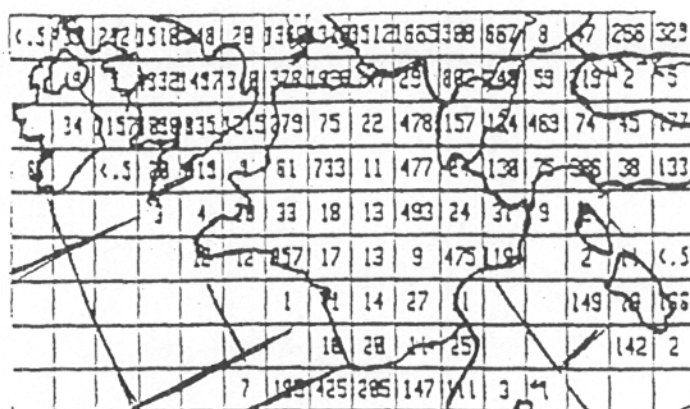
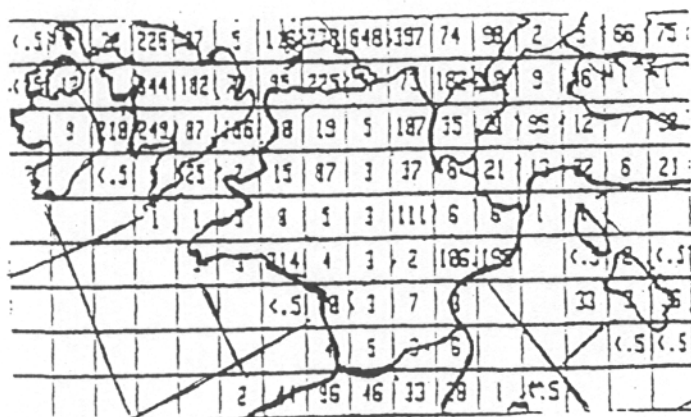
La synthèse nationale réalisée en 1989 permet de donner une répartition géographique pour les unités d'incinération en France et les quantités d'ordures ménagères incinérées.

- Modèle NILU/DORNIER

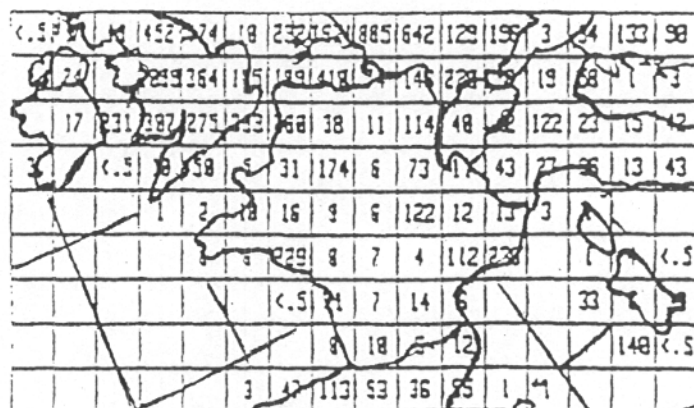
Ce modèle d'émission de mercure dans l'atmosphère (carte ci-jointe) permet d'avoir une estimation des rejets atmosphériques en France. Toutefois, les valeurs correspondantes à Nantes et la région grenobloise ne devront être prises en compte.

EMISSIONS DE MERCURE EN 1982 EN FRANCE, MODELE EUROPEEN

Elaboré par Dornier/NILU (1988)

Emission de Hg^0 Emission de Hg^{++} 

Emission de Hg particulaire



Emission de Hg

ORDURES MENAGERES INCINEREES PAR AN SUR CHAQUE BASSIN

BASSIN	tonnage journalier moyen traité	tonnage annuel moyen traité	mercure émis en tonnes par an
Adour Garonne	2 426	885 490	1,1-1,5
Seine Normandie	11 144	4 067 560	5-6,9
Rhône Méditerranée Corse	5 954	2 173 210	2,6-3,7
Artois Picardie	3 476	1 268 740	1,4-2,1
Rhin Meuse	2 282	832 930	1-1,4
Loire Bretagne	3 978	1 451 970	1,7-2,5

Source : AGHTM, 1990

La carte de répartition des unités d'émissions atmosphériques de mercure inventoriées par le ministère de l'environnement (SEI) permet d'observer les bassins les plus à même de voir les taux de mercure augmenter dans les eaux de surface.

3.3 Rejets aquatiques diffus

On considère essentiellement les rejets occasionnés par les cabinets dentaires dont on peut voir la répartition dans le tableau ci-dessous.

REPARTITION DES SOURCES DIFFUSES DE MERCURE ISSUES DE LA DENTISTERIE

Bassin	Dentistes (nb de cabinets)	mercure/déc hets (kg/an)	rejets dans l'eau (kg/an)
Artois Picardie	2 218	554	332,7
Rhin Meuse	2 919	729,7	437,8
Rhône Méditerranée Corse	10 516	2 629	1 577,4
Seine Normandie	12 150	3 037	1 822,5
Loire Bretagne	6 733	1 683	1 010
Adour Garonne	5 172	1 293	775,8

Source : CNSD, 1991 (répartition géographique des cabinets dentaires sur la France)

Les valeurs de rejets global de mercure d'amalgames sur chaque bassin ont été d'abord estimées à partir de la répartition géographique des dentistes en France, considérant que chaque cabinet dentaire rejette environ 400 mg de mercure par an.

La répartition entre les deux types de rejets a ensuite été réalisée sur la base des données suivantes:

- 60 % des rejets d'amalgames dentaires aboutissent dans les déchets (avec les ordures ménagères, collecte)
- 40 % des rejets d'amalgames de dentisterie sont retrouvés dans les eaux usées (cf le paragraphe 2.3.6.1)

3.4 Comparaison avec les rejets ponctuels

IMPORTANCE RELATIVE REJETS PONCTUELS/REJETS DIFFUS DANS L'EAU ET L'ATMOSPHERE

TYPE DE REJET	QUANTITES REJETEES (tonnes/an)	POURCENTAGE/REJET TOTAL (tous types de rejets confondus)
Ponctuels dans l'eau	0,5 (1)	1,6 %
Diffus dans l'eau	7,3 - 7,5	24,5 %
Ponctuels dans l'atmosphère	0,75 (1) - 3,7 (2)	7,5 %
Diffus dans l'atmosphère	16,1 - 23,9	66,4 %

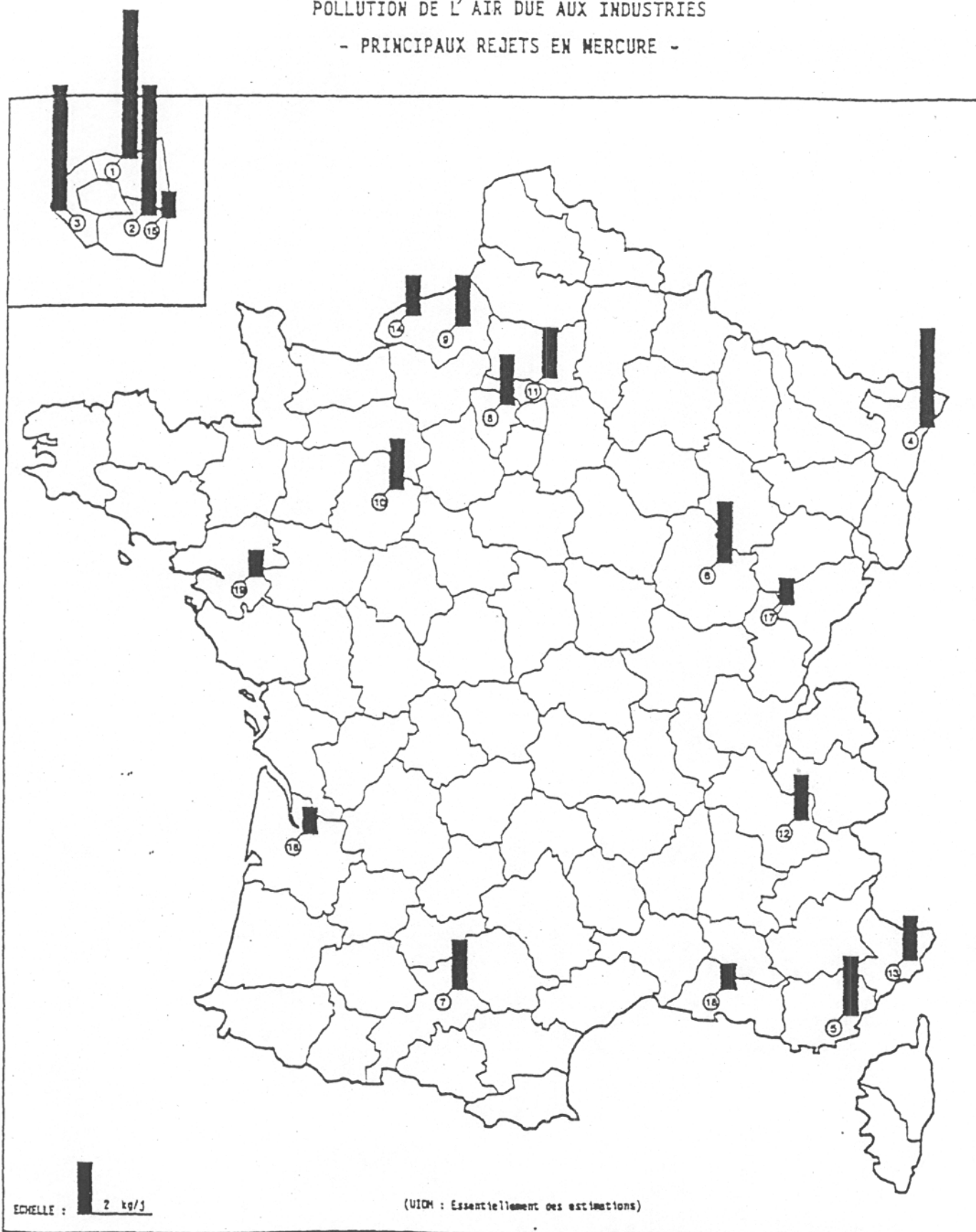
Sources : (1) chiffres fournis par le Ministère de l'environnement (1990) qui prennent en compte les 11 principaux sites industriels.

(2) CITEPA, 1988 (chiffres de 1985)

NOTA

Les évaluations des rejets non diffus ne font pas l'objet de la présente étude. Quelques valeurs ont été obtenues dans des dossiers déjà à notre disposition. Bien que nous n'ayons pas approfondi ce problème, il semblerait que les rejets ponctuels puissent être sensiblement plus importants que ceux qui ont été cités dans ce rapport.

POLLUTION DE L' AIR DUE AUX INDUSTRIES
- PRINCIPAUX REJETS EN MERCURE -

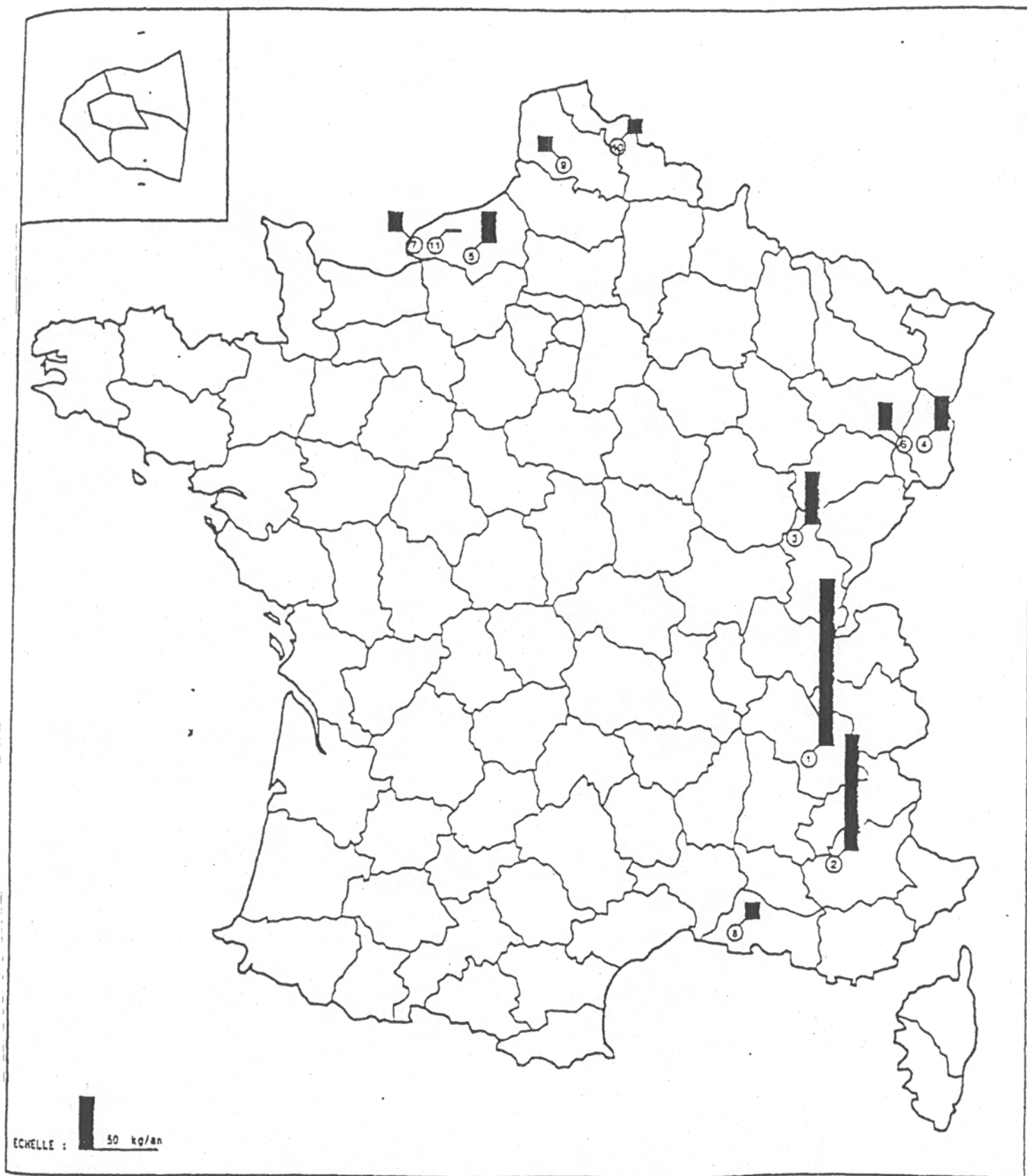


1 TIRU (UIOM) 93 ST OUEN 5,7 kg/j
4 ALTRIM (UIOM) 67 STRASBOURG 3,7 kg/j
7 SETMI (UIOM) 31 TOULOUSE 1,9 kg/j
10 CFSP (UIOM) 72 LE MANS 1,9 kg/j
13 CNIM 06 ANTIBES 1,7 kg/j
16 SETGI (UIOM) 33 CENON 1,0 kg/j
19 VALOREMA (UIOM) 44 NANTES 1,0 kg/j

2 TIRU (UIOM) 94 IVRY SUR SEINE 5,0 kg/j
5 CCUAT (UIOM) 83 TOULON 2,3 kg/j
8 CNIM (UIOM) 78 THIVERBAL 1,9 kg/j
11 SAREN (UIOM) 95 SARCELLES 1,9 kg/j
14 COFRETH (UIOM) 76 LE HAVRE 1,5 kg/j
17 SOLVAY 39 TAVAUX 1,0 kg/j

3 TIRU (UIOM) 92 ISSY LES MOULINEAUX 4,8 kg/j
6 COMM. URBAINE (UIOM) 21 DIJON 2,3 kg/j
9 USP (UIOM) 76 ROUEN 1,9 kg/j
12 COMM. URBAINE (UIOM) 38 GRENOBLE 1,7 kg/j
15 SOTRIS (UIOM) 94 RUNGIS 1,0 kg/j
18 ATOCHEM 13 MARTIGUES LAVERA 1,0 kg/j

POLLUTION DE L'EAU DUE AUX INDUSTRIES
- PRINCIPAUX REJETS EN MERCURE -



1 ATOCHEM 38 JARRIE 158.0 kg/an	2 ATOCHEM 04 ST AUBAN 110.0 kg/an	3 SGLVAY 39 TAVAU 50.0 kg/an
4 MINES DE POTASSE D ALSACE 68 MULHOUSE 32.4 kg/an	5 ICI FRANCCOLOR 76 OISSEL 29.0 kg/an	6 PPC 6E THANN 25.7 kg/an
7 NORSK HYDRO AZOTE (ex: COFAZ) 76 LE HAVRE 18.0 kg/an	8 ATOCHEM 13 MARTIGUES LAVERA 16.0 kg/an	9 META-EUROF 62 NOYELLES GODAULT 14.2 kg/an
10 PRODUITS CHIMIQUES 59 LOOS 13.1 kg/an	11 THANN ET MULHOUSE 76 LE HAVRE 1.7 kg/an	

QUATRIEME PARTIE: LIMITATION DES POLLUTIONS DE SOURCES DIFFUSES PAR LE MERCURE

Les industries du chlore, suite aux diverses réglementations (directives du 22 mars 1982, du 13 décembre 1983, du 8 mars 1984), se sont déjà mobilisées à la fois pour diminuer leur consommation de mercure et pour limiter les rejets dans l'environnement. Pour ce qui est des pollutions diffuses, les acteurs visés par d'éventuelles mesures de réduction des pollutions sont à la fois plus nombreux et moins conscients des problèmes.

On peut néanmoins citer plusieurs exemples d'actions.

4.1 LES ACTIONS EN COURS

4.1.1 Les piles et accumulateurs.

4.1.1.1 De récentes réglementations

La directive en date du 18 mars 1991, déjà mentionnée au paragraphe 2.3.1, précise une date de mise en application dans les pays membres fixée au 1er janvier 1993.

Elle interdit la mise sur le marché de piles contenant plus de 25 mg de mercure par unité, à l'exception des piles alcalines au manganèse, ces dernières ne devant pas présenter de teneur en mercure supérieure à 0,025 % en poids.

4.1.1.2 Peu de producteurs concernés

L'industrie des piles et des accumulateurs a pris de vitesse les pouvoirs publics européens en mettant en place depuis déjà quelques années un programme de diminution des taux de mercure dans les piles.

Le marché des piles en France est détenu par quelques compagnies dont les fusions successives expliquent une situation de quasi-monopole pour Mallory (Duracell), Ralston (Ucar, Wonder, Mazda), Varta, Philips et Kodak, ce qui facilite les évolutions rapides du marché.

4.1.1.3 Le problème des piles boutons

Les piles boutons à oxyde de mercure, contenant de l'ordre de 30 % de mercure, ne relèvent pas de cette directive qui est en voie de transcription en droit français. En effet, leur substitution semble poser un problème d'ordre technologique.

Ces piles sont difficilement remplaçables car elles ont une tension de décharge constante pendant toute la durée d'utilisation. Les piles à ce jour susceptibles de les remplacer sont les piles Zinc-air, mais celles-ci ne peuvent être utilisées qu'en milieu ouvert, et les piles au lithium, d'une durée de vie de 5 à 8 ans, dont le coût est encore élevé (119 FF pour une pile de 3,6 V) n'existent pas encore avec un voltage de 1,5 V. Il existe en outre des piles au lithium de 7 V.

4.1.1.4 Circuits de collecte des piles boutons et autres déchets mercuriels

Les autorités, l'ANRED en l'occurrence, ont mis en place un premier circuit de récupération des piles boutons usagées. 35 tonnes de piles boutons ont pu être ainsi collectées et sont en cours de traitement par la société MBM à Angers. La collecte est organisée par la Croix-Rouge et réalisée par des bénévoles.

Un autre circuit de collecte des piles boutons est actuellement en train de se mettre en place par un ensemble de sociétés spécialisées ; ALLIATECH, TREDI (groupe EMC), DUCLOS ENVIRONNEMENT, CMP ENGELHARD se sont rassemblés de façon contractuelle pour traiter les déchets de mercure provenant de :

- piles boutons
- thermomètres cassés
- amalgames dentaires
- mercure contenu dans certains appareils de mesure
- contacteurs

Rôle de chacun des contractants :

- Alliatech collecte et revend le mercure
 - EMC services (Tredi) démercurise.
 - Duclos distille le mercure. est responsable du traitement des amalgames dentaires (récente spécialité) et des thermomètres (ancienne spécialité).
- CMP Engelhard réalise l'affinage des métaux précieux.

EMC services (TREDI) doit mettre en oeuvre son unité pilote de St Vulbas à cet effet dans les mois à venir (mi 92).

4.1.2 Les amalgames dentaires.

4.1.2.1 Etat des réseaux de collecte à ce jour

A ce jour, Alliatech a pris en charge la collecte des excès d'amalgames d'obturation. Les dentistes pouvaient il y a peu revendre les excès d'obturation grâce aux quantités d'argent (presque 50 %) contenues dans les amalgames. Il semble pourtant que la récupération des déchets d'amalgames dentaires soit en nette régression suite aux incessantes chutes du cours du mercure et surtout de l'argent dont la valeur monétaire a été divisée par deux en seulement quelques années.

Les dentistes pouvaient autrefois revendre leurs résidus d'amalgames, aujourd'hui c'est un don; demain ils devront s'aligner sur le comportement des autres pays européens et financer la collecte et le traitement.

4.1.2.2 Les méthodes de dépollution

Le problème ne sera pourtant pas pour autant résolu car 40 % du mercure contenu dans les amalgames dentaires se retrouve dans les eaux usées (par le crachoir) en l'absence de circuit de traitement. L'installation d'un tel système coûte de 12 000 à 15 000 FF, ce qui constitue un obstacle en l'absence de réglementation.

Il existe en outre un autre système d'épuration du mercure dans les rejets de crachoir. Sa valeur est d'environ 400 FF et il est déjà largement utilisé en Suède. En fin de cycle, le système est récupéré par le distributeur en Suède et envoyé pour traitement à la société française DUCLOS près de Marseille. Les français ont à leur disposition un spécialiste du traitement sur place ! Le système d'épuration, une fois traité, est renvoyé en Suède aux clients de l'industrie dentaire.

4.1.2.2 Les substituts

Les substituts des amalgames mercuriels existent déjà sur le marché mais ne semblent pas satisfaire pleinement la profession. Les composites remplacent favorablement les amalgames sur un plan purement esthétique mais ne présentent pas les qualités de durabilité de ces derniers.

Selon la CNSD, il semble cependant que ces substituts constituent l'avenir et que l'an 2000 soit à même de voir le retrait total de l'utilisation d'amalgames. Ils sont également plus faciles à manipuler.

Le rapport de réduction des risques de l'OCDE consacré au mercure (Coopération sur les produits chimiques existant), rédigé par les Danois, préconise leur emploi exclusif comme réponse aux pollutions mercurielles occasionnées par la profession dentaire.

4.1.2.3 Outil de communication

La CNSD (Confédération nationale des syndicats dentaires) est consciente du problème et semble prête à utiliser ses moyens de communication internes (bulletin, colloques) pour le résoudre.

4.1.3 Traitement des fumées d'incinération des déchets domestiques et industriels.

Il est évident que l'absence de déchets contenant du mercure est l'objectif final des actions précédentes et paraît être la seule solution pour le long terme puisque tous les systèmes de dépollution conduisent à des transferts de contamination d'un milieu à un autre. Il faut toutefois considérer les efforts fournis par les industriels de l'incinération.

De par ses propriétés physico-chimiques, le mercure est retrouvé en grande partie dans les effluents gazeux.

Des problèmes d'ordre technique se posent relativement à la limitation simultanée des rejets atmosphériques de mercure et de dioxyde de soufre (TIRU). Plusieurs solutions s'offrent à l'industrie de l'incinération :

La dissolution des SOx dans les eaux de lavage requiert un bain à pH basique. A l'inverse, le mercure ne peut être dissous en milieu aqueux qu'à pH acide.

- Un seul bain de lavage des fumées

Une solution consiste à utiliser un bain de lavage à pH intermédiaire, entre 2 et 3 et à abaisser la température du bain de 200° C à 60° C. Le mercure est finalement capté par précipitation à l'aide du TMT 15 (solution aqueuse à 15 % de trimercaptotriazine, précipitant du mercure) et de flocculants.

Ce système installé à l'UIOM de Saint-Ouen permet une rétention d'environ 70 % du mercure parvenant à la cheminée de l'incinérateur.

- Deux bains de lavage des fumées

Un procédé beaucoup plus performant est mis en application sur de nombreuses unités d'incinération d'ordures ménagères en Allemagne : passage des fumées dans deux bains distincts :

- un bain de lavage acide pour la dissolution des métaux lourds (pH = 0,5 - 1), et du mercure en particulier sous forme de chlorure.

Les effluents de ce premier bain sont ensuite traités au lait de chaux et amenés à un pH de 7,5/8. Le mercure dissous est alors précipité par réaction avec le TMT 15.

- un bain neutre (pH = 6 - 7) pour le captage des SOx. Des précipitants sont ajoutés à ce second bain afin de parachever la rétention des métaux lourds.

Les normes d'émissions atmosphériques de mercure par les UIOM sont beaucoup plus rigoureuses en Allemagne qu'en France, ce qui explique une large utilisation de ce procédé plus coûteux qu'un système de bain unique classique. Toutefois, l'UIOM de Grenoble dont la construction est prévue en 1995 sera dotée de ce procédé.

4.1.5 Mercure utilisé pour les tests de DCO.

Chaque test de DCO consomme 0,27g de mercure pour un échantillon de 20 ml.

Il est nécessaire de récupérer le mercure utilisé séparément avec l'argent (déjà récupéré pour son coût : chaque test de DCO revient à environ 12 FF d'argent). L'argent est donc systématiquement récupéré.

Les autorités belges préconisent des tests de DCO uniquement à base d'argent.

4.2 LES PRINCIPALES REGLEMENTATIONS

4.2.1 La déclaration de la troisième conférence internationale sur la protection de la mer du Nord qui s'est tenue en mars 1990 à La Haye.

Le mercure est inclus dans la liste des substances dangereuses prioritaires, c'est à dire des substances qui à l'heure actuelle sont considérées comme la source la plus importante de pollution de la mer du Nord (il fait partie de l'annexe A1).

Il est convenu que :

-les déversements de ces substances devront avant l'an 2000 être réduits à des niveaux qui ne sont pas nuisibles pour l'homme ou la nature.

- des réductions de l'ordre de 70 % par rapport à la situation existante en 1985 sur les apports de mercure aux rivières et aux fleuves et de 70 % sur les apports atmosphériques devront être réalisées, ceci entre 1985 et 1995.

4.2.2 La décision 82/460/EEC du 19 juillet 82 sur le supplément à l'annexe IV (valeurs limites pour les rejets de mercure des usines de chlorures alcalins) prise à la convention du Rhin.

4.2.3 La décision 85/613/EEC du 31 décembre 85 sur l'adoption de programmes de mesures sur les rejets de mercure et de cadmium prise à la convention de Paris.

4.2.4 La directive du conseil du 76/464/CEE du 4 mai 76 relative aux substances dangereuses.

4.2.5 La France a supprimé en 1989 toute dérogation à la directive européenne 79/117, directive qui interdit l'utilisation de produits antiparasitaires mercuriels dans l'agriculture.

(voir également la directive 91/414/CEE. : Mise sur le marché de produits phytopharmaceutiques).

4.2.6 La directive du conseil du 22 mars 1982 sur les valeurs limites et les objectifs de qualité pour les rejets de mercure par l'industrie des chlorures alcalins.

La cible de cette première directive fille de la directive 76/464 est la seule industrie productrice de chlore dans laquelle les chlorures alcalins sont électrolysés au moyen de cellules de mercure. Les rejets doivent répondre aux valeurs limites ou aux objectifs de qualité suivants.

concentrations.

-50 microgrammes de mercure par litre (applicable à la quantité totale de mercure présent dans les tous les déversements d'eaux contenant du mercure, provenant du site de l'établissement industriel par litre d'eau mercurée rejetée; saumure recyclée et saumure perdue).

quantités.

-0,5 g de mercure par tonne de capacité de production de chlore installée (applicable au mercure présent dans les effluents; saumure recyclée).

-1,0 g de mercure par tonne de capacité de production de chlore installée (applicable à la quantité totale de mercure présent dans tous les déversements d'eaux contenant du mercure; saumure recyclée).

-5,0 g de mercure par tonne de capacité de production de chlore installée (applicable à la quantité totale de mercure présent dans tous les déversements d'eaux contenant du mercure; saumure perdue).

Cette directive a été transcrite en droit français dans la circulaire du 13 décembre 1983.

4.2.7 La directive 84/156/EEC du 8 mars 1984, troisième directive fille de la directive 76/464, qui fixe les valeurs de rejets limites et les objectifs de qualité pour les industries autres que celle de l'électrolyse des chlorures alcalins.

La transcription de cette directive en droit français a été réalisée avec la circulaire du 4 novembre 85 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement et l'arrêté du 26 septembre 1985 relatif aux rejets de mercure et de cadmium dans les eaux issues des ateliers de fabrication des batteries.

Les valeurs limites pour les rejets de mercure peuvent être résumées comme suit (page suivante).

VALEURS LIMITES DE REJETS DE MERCURE

Type d'utilisation	moyenne s mensuelles (directive)	charges mensuelles (circulaire)
a-1) industries chimiques utilisant les catalyseurs mercuriels pour la production de chlorure de vinyle.	0,05 mg/l eau rejetée	0,1 g/t capacité de production de chlorure de vinyle
a-2) industries chimiques utilisant les catalyseurs mercuriels pour d'autres productions.	0,05 mg/l eau rejetée	5 g/kg de mercure traité
b) fabrication des catalyseurs mercurés utilisés pour la production du chlorure de vinyle.	0,05 mg/l eau rejetée	0,7 g/kg de mercure traité
c) fabrication des composés organiques et non organiques du mercure à l'exception des produits visés au point 2.	0,05 mg/l eau rejetée	0,05 g/kg de mercure traité
d) fabrication des batteries primaires contenant du mercure.	0,05 mg/l eau rejetée	0,03 g/kg de mercure traité
e) industrie des métaux non-ferreux (établissements de récupération du mercure et extraction et raffinage de métaux non ferreux)	0,05 mg/l eau rejetée	0,05 g/kg de mercure traité

4.2.8 La directive du 21 décembre 1989 portant huitième modification de la directive 76/769/CEE concernant le rapprochement des dispositions législatives et administratives des états membres relatives à la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses (89/677/CEE):

composés du mercure : ne sont pas admis comme substances et composants de préparations destinées à être utilisées pour :

- a) empêcher la salissure par micro-organismes, plantes ou animaux sur :
 - les coques de bateaux;
 - les cages, flotteurs, filets ainsi que tout autre appareillage ou équipement utilisé en pisciculture et conchyliculture;
 - tout appareillage ou équipement totalement ou partiellement immergé;
- b) la protection du bois;
- c) l'imprégnation de textiles lourds industriels et des fils destinés à leur fabrication;
- d) le traitement des eaux industrielles, indépendamment de leur utilisation.

retranscrit en droit français en Juin 1991.

4.2.9 Directive du 18 mars 1991 relative aux piles et accumulateurs contenant certaines substances dangereuses.

4.2.10 La circulaire du 5 janvier 1976 relative aux papeteries interdit tout usage de biocides mercuriels.

4.2.11 La circulaire du 9 juin 86 relative aux rejets d'usines d'incinération de déchets urbains réglemente les rejets dans l'atmosphère qui doivent ne pas contenir plus de 300 ng de mercure par m³.

4.2.12 La réglementation a été mise en place pour l'incinération des ordures ménagères en 89 par la directive Européenne 89/369/CEE du 8 juin concernant la prévention de la pollution atmosphérique en provenance des installations nouvelles d'incinération des déchets municipaux et qui fixe à 0,2 mg/m³, quel que soit le tonnage, le taux maximal de mercure particulaire ou gazeux dans les vapeurs d'incinération.

4.2.13 La directive européenne 89/429/CEE du 21 juin 1989 concernant la réduction de la pollution atmosphérique en provenance des installations existantes d'incinération des déchets municipaux qui reprend les valeurs limites de la directive 89/369/CEE en précisant des délais d'application en fonction de la capacité de l'unité.

4.2.14 L'arrêté du 23 août 89 interdit de procéder à l'incinération des déchets mercuriels.

4.2.15 L'arrêté du 8 mars 1991 relatif aux deux directives précitées sur l'incinération d'ordures ménagères est plus contraignant en ce qui concerne les teneurs dans les eaux et dans les déchets. Cet arrêté abroge les normes prévues dans l'arrêté du 9 juin 86 pour les installations nouvelles. Les installations anciennes sont concernées par la circulaire portant instruction du 6 juin 1972.

Cet arrêté précise les valeurs limites suivantes.

Pollution des eaux : concentration de Hg inférieure à 0,05 mg/l

Normes d'émission : Cd + Hg (particulaire et gazeux) : 0,2 mg/Nm³ (pour les unités de capacités supérieures à 1 t/h)

La réglementation prévoit des teneurs maximales de SO₂, NO_x, poussières, Pb dans l'air mais rien, à ce jour, n'est prévu à ce sujet pour le mercure. Le sujet est actuellement en discussion. Pour l'instant, ce qui existe pour le mercure concerne les teneurs à l'émission des installations d'incinérations d'ordures ménagères et d'incinération de déchets industriels.

REFERENCES

- Airey D., Contribution from Coal and Industrial Materials to Mercury in Air, Rainwater and Snow, *The Science of the Total Environment*, 25, pp 19-40, 1982
- Agence Nationale pour la Récupération et l'Élimination des Déchets, LES TRANSFORMEURS, Marque Retour Règlement Particulier Type, 12 pp., Règles Générales de la marque Retour, 19 pp., France, 1990.
- Aubert M., Aubert J., Risques Sanitaires Liés aux Métaux Lourds, 1ère partie, La Lettre de l'eau pure N°71, 4pp., France, 1984.
- Bacci E., Mercury in the Mediterranean, *Marine Pollution Bulletin*, 20, 2, pp.59-63, 1989.
- Barghigiani C., Siegel B.Z., Bargagli R., Siegel S.M., The Contribution of Mercury from Thermal Springs to the Environmental Contamination of Mt Amiata, *Water Air Soil Pollution*, 43, pp.169-175, The Netherlands, 1989.
- Berthelet C., La Collecte des Piles au Mercure en France, document OCDE, Les Instruments Économiques dans la Gestion des Déchets Solides, pp.183-204, France (ANRED), 1981.
- Björnberg A., Hakanson L., Lundbergh K., *Environmental Pollution*, 49, pp.53-61, UK, 1988.
- Borg H., Johansson K., Metal Fluxes to Swedish Forest Lakes, *Water Air Soil Pollution*, 47,3-4, pp. 427-440, Sweden, 1989.
- Cohen-Chabaud M., Piles : vers les concentrations, *Le Nouvel Economiste*, 1p., 28 Mars 1988
- Cohen-Chabaud M., WONDER aux américains, *Le Nouvel Economiste*. 1p., 25 Novembre 1988
- Commission des barèmes, des instruments, des matériaux et des équipements de l'association dentaire Australienne sous la direction de Dr Beech D.R. et Pr Atkinson H.F., Guide pratique pour l'exercice de la chirurgie dentaire, *Le Chirurgien de France*, 400, 7pp., 1987
- Cossa D., Martin J.M., Mercury in the Rhône delta and adjacent marine areas, 18pp., 1991, (sous presse)
- Cossa D., Thibaud Y., Roméo M., Gnassia-Barelli M., Le mercure en milieu marin biogéochimie et écotoxicologie, 130pp., 1990.
- Deroin P., Piles et Batteries : l'enjeu industriel, *L'Usine Nouvelle*, 2268, 2pp., Mai 1990
- Deshkar A.M., Bokade S.S., Dara S.S., Modified Hardwickia Binata Bark For Adsorption of Mercury(II) from Water, *Water Resources*, 24, 8, pp. 1011-1016, India, 1990.

DORNIER/NILU, Europäische Modell - Emissionsdatenbasis Quecksilberkomponenten - 1982, 18 pp., 1990.

EPA (United States Environmental Protection Agency), Guide to Nonpoint Sources Pollution Control, 119 pp., US, 1987.

Esposito O., SAFT prépare les piles du futur, L'Usine Nouvelle, 1p., Décembre 1988

EUROPILE, Position paper prepared by Europile on the EC Commission proposal for a Council Directive concerning batteries and accumulators containing dangerous substances, 15pp., 1989

Fischer W., Récupération et Elimination des déchets d'amalgames, résumé par J.M.Forrer, Revue mensuelle Suisse Odontologie Stomatologie, 97, 2pp., 1987

Fitzgerald W.F., Cycling of Mercury Between the Atmosphere and Oceans, P. Buat-Menard (ed), The role of Air-Sea Exchanges in Geochemical Cycling, pp. 363-408 1986

Gill G.A., Bruland K.W., Mercury Speciation in Surface Freshwater Systems in California and Other Areas, Environment Science and Technology, 24, 9, pp.1392-1401, US, 1990

Glass G.E., Sorensen J.A., Schmidt K.W., Rapp G.R. Jr, New Source Identification of Mercury Contamination in the Great Lakes, Environment Science and Technologie, 24, pp 1059-1069, 1990.

Hankanson L., Andersson T., Nilsson A., Mercury in Fish in Swedish Lakes - Linkages to Domestic and European Sources of Emission, SNV(National Swedish Environmental Protection Board), 21 pp., Sweden, 1990.

Hendrickson K.J., Benjamin M.M., Ferguson J.F., Goebel L., Removal of Silver and Mercury from Spent COD Test Solutions, Journal WPCF, 56, 5, pp. 468-473, US, 1984.

Hussain S., Jamil K., Bioaccumulation of Mercury and its Effects on Protein Metabolism of the Water Hyacinth Weevil *Neochetina eichhorniae* (Warner), Bull. Environ. Contam. Toxicol., 45, pp.294-298, New-York, 1990.

Julius J.(Dr) Schwermetallreduzierung durch Abtrennung von Altbatterien aus Hausmüll, Kommunalwirtschaft 5/85, Düsseldorf, 5pp., 1985

JWPCF, Meeting the challenge of nonpoint source control, 58, N°7, pp.730-740, 1986.(66/61415 AFEE)

Keramida V., Renner T., Neilson B., Study of Toxic Compounds in River Bottoms at Metropolitan Areas, 43rd Purdue Industrial Waste Conference Proceedings, 11 pp., US, 1989.

La Tribune, Energie Non Polluante, SAFT au Coeur des Voitures Electriques, 1p., 1990

Le Nouvel Economiste, La Face Cachée des Piles, 1p., Décembre 1989

Le Nouvel Economiste, Piles : la Tension Monte, 2pp., 28 Septembre 1987

Lindqvist O., Fluxes of Mercury in the Swedish Environment : Contribution from Waste Incineration, Waste Management & Research, 4, pp.35-44, 1986.

Lovgren L., Sjoberg S., Equilibrium Approaches to Natural Water Systems - Complexation reactions of copper(II), Cadmium(II) and Mercury(II) with Dissolved Organic Matter in a Concentrated Bog-Water, *Water Resources*, 23, 3, pp.327-332, UK, 1989.

LSA, Des Piles Haute Technologie, LSA, 1151, 2pp., 1989

Mennessier M., Comment s'en débarrasser?, *Sciences et Vie*, 872, 1990.

Missouri Department of Natural Resources, Nonpoint Source Management Plan, 125 pp., US, 1988.

Mouvet C.(BRGM), Morhain E.(Laboratoire d'écologie de l'Université de Nancy), Agence de l'eau Loire-Bretagne, *Mousses Aquatiques et Métaux Lourds en Bretagne*, Campagne 1990, 28 pp, 1991.

National Nonpoint Conference, The Water Quality Act- Making Nonpoint Programs Work, 65 pp., St Louis, Missouri, 23-26 Avril, 1989.

National Symposium on Nonpoint Water Quality Concerns, Legal and Regulatory Aspects, Presentation Proposal, New Orleans Marriot - New Orleans Louisiana, December 11-12, 1989

OCDE, Co-operation on Existing Chemicals Risk Reduction Lead Country on Mercury, 1991

OCDE, Measures to Reduce all Man-made Emissions of Mercury to the Environment, Information Exchange on Mercury, 61 pp., 1982.

Office Fédéral Suisse de la Protection de l'Environnement, *Recommandations Concernant l'Evacuation des Eaux usées et des Résidus Contenant du Mercure Provenant des Cabinets Dentaires*, 22pp., 1988.

Olier J.P., Allary A., Milhau A., Seminel M., *La Prévention de la Pollution Atmosphérique Produite par l'Incinération des Ordures Ménagères*, Agence pour la Qualité de l'Air, T.S.M.-L'eau, 84, 9, 7pp., 1989.

Pacyna J.M., Munch J., Atmospheric emissions of arsenic, cadmium, mercury and zinc in Europe in 1982, *NILU*, 33 pp., 198.

Pacyna J.M., Petersen G., Schneider B., Eppel D., Grassl H., Iverfeldt A., Misra P.K., Bloxam R., Wong S., Shroeder W.H., Volder E., *Numerical Modelling of the Atmospheric Transport, Chemical Transformations and Deposition of Mercury*, GKSS, 20 pp., 1990.

Pacyna J.M., Nriagu J.O., Quantitative Assessment of Worldwide Contamination of Air, Water and Soil by Trace Metals, *Nature*, Vol. 33, 6 pp., 1988.

Petel F., *Piles : Qui Mène le Jeu ?*, Points de Vente, 275, 5pp., 1985.

Rousseaux R., Navarro A., Vermande P., *Distribution des Sept Principaux Métaux Lourds dans les Constituants des Ordures Ménagères*, *Tribune de l'eau*, 9pp., 1990.

Seiya Yamaguchi, Nobuhiro Shimojo, Ken-ichi Sano et Tsutomu Fujishima, Institute of Community Medicine, The University of Tsukuba, Sakura-Mura, Niihari-Gun, Ibaraki-Ken (Japan), *Discovery of Methyl Mercury Compound in Dry Batteries*, *The Science of the Total Environment*, 1982

Schärer J., La Collecte des Piles au Mercure en Suisse, document OCDE, Les Instruments Economiques dans la Gestion des Déchets Solides, Suisse(Service Fédéral d'Hygiène Publique), 1981.

Schroeder W.H., Fanaki F.H., Field Measurements of Water-air Exchanges of Mercury in Freshwater Systems, Environmental Technology Letters, 9, pp.369-374, UK, 1988.

UNEP, Toxicological Profile for Mercury, pp.105-114, 1989.

UNEP, International Register of Potentially Toxic Chemicals, IRPTC Data Profile on Mercury, 1991

Vernes A., Le Marché des Piles Face aux Américains, les Français n'ont pas dit leur dernier mot, 5 p., Stratégies, 295, 1981

Welinder A.S., La Collecte des Piles au Mercure au Danemark, document OCDE, Les Instruments Economiques dans la Gestion des Déchets Solides, pp.175-182, Danemark (Agence Nationale Danoise pour la Protection de l'Environnement), 1981.

WHO/UNEP/ILO, IPCS, Environmental Health Criteria 86, Mercury-Environmental aspects, 1989.

Wren C.D., Stokes P.M., Depressed Mercury Levels in Biota from Acid and Metal Stressed Lakes Near Sudbury, Ontario, Ambio, 17, pp.28-30, 1988.

Résumé

La prise de conscience des dangers pour l'environnement causés par certains métaux, au premier rang desquels le mercure, a d'abord conduit à chercher à contrôler les sources de pollution localisées.

Avec le recul, cette stratégie apparaît à la fois comme bénéfique, puisque ces sources de pollution sont assez bien contrôlées, et insuffisante, puisque la contamination de l'environnement perdure. Ces sources résiduelles sont dispersées, et correspondent à des usages variés - dentisterie, thermomètres, piles, etc... - et répartis entre de nombreux utilisateurs.

Cette forme diffuse de pollution, si l'on veut la contrôler, nécessite une approche complètement différente de la précédente, dont l'axe central sera la prévention. Mais bâtir une stratégie de prévention suppose au préalable d'avoir hiérarchisé les sources et identifié les acteurs correspondants, ce qui est tenté ici pour le mercure.

L'étude aborde également le sujet des essais de limitation auxquels se sont astreints les producteurs de piles alcalines et les dentistes.

AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE
90, rue du Férétra
31078 TOULOUSE CEDEX
Tél. : 05 61 36 37 38
Fax : 05 61 36 37 28

AGENCE DE L'EAU ARTOIS-PICARDIE
200, rue Marceline
B.P. 818
59508 DOUAI CEDEX
Tél. : 03 27 99 90 00
Fax : 03 27 99 90 15

AGENCE DE L'EAU LOIRE-BRETAGNE
Avenue Buffon
B.P. 6339
45063 ORLEANS LA SOURCE CEDEX 2
Tél. : 02 38 51 73 73
Fax : 02 38 51 74 74

AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE
ROZERIEULLES
B.P. 19
57161 MOULINS-LES-METZ CEDEX
Tél. : 03 87 34 47 00
Fax : 03 87 60 49 85

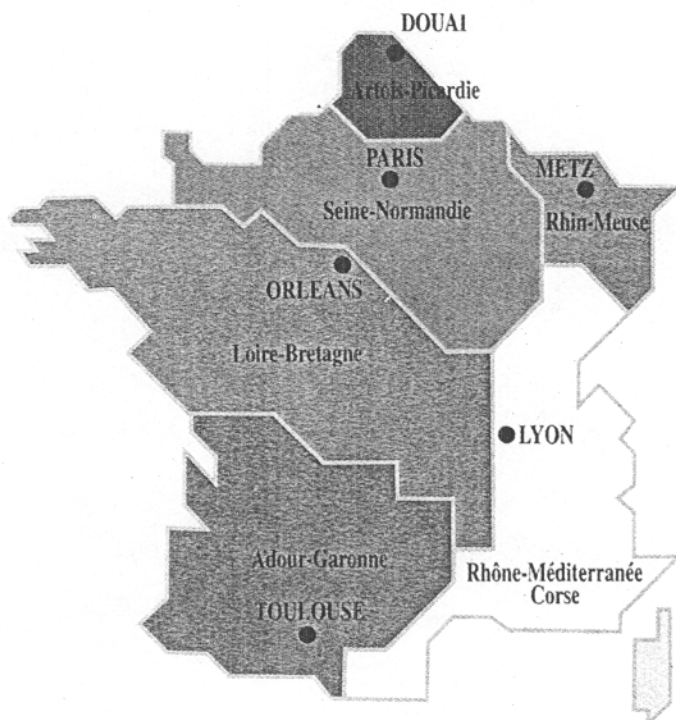
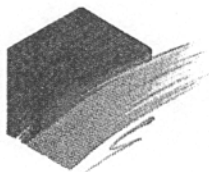
AGENCE DE L'EAU
RHONE-MEDITERRANEE-CORSE
2-4, allée de Lodz
près de l'avenue Tony Garnier
69363 LYON CEDEX 07
Tél. : 04 72 71 26 00
Fax : 04 72 71 26 01

AGENCE DE L'EAU SEINE-NORMANDIE
51, rue Salvador-Allende
92027 NANTERRE CEDEX
Tél. : 01 41 20 16 00
Fax : 01 41 20 16 09

MINISTERE
DE L'ENVIRONNEMENT
DIRECTION DE L'EAU

20, avenue de Ségur
75302 PARIS 07 SP
Tél. : 01 42 19 20 21
Fax : 01 42 19 12 22

20, avenue de Ségur
75302 PARIS 07 SP
tél : (1) 42 19 20 21



Agences de l'Eau



Secrétariat : Office International de l'Eau, 21 rue de Madrid - 75008 PARIS
Tél. : 01 45 22 14 67 - Fax : 01 40 08 01 45